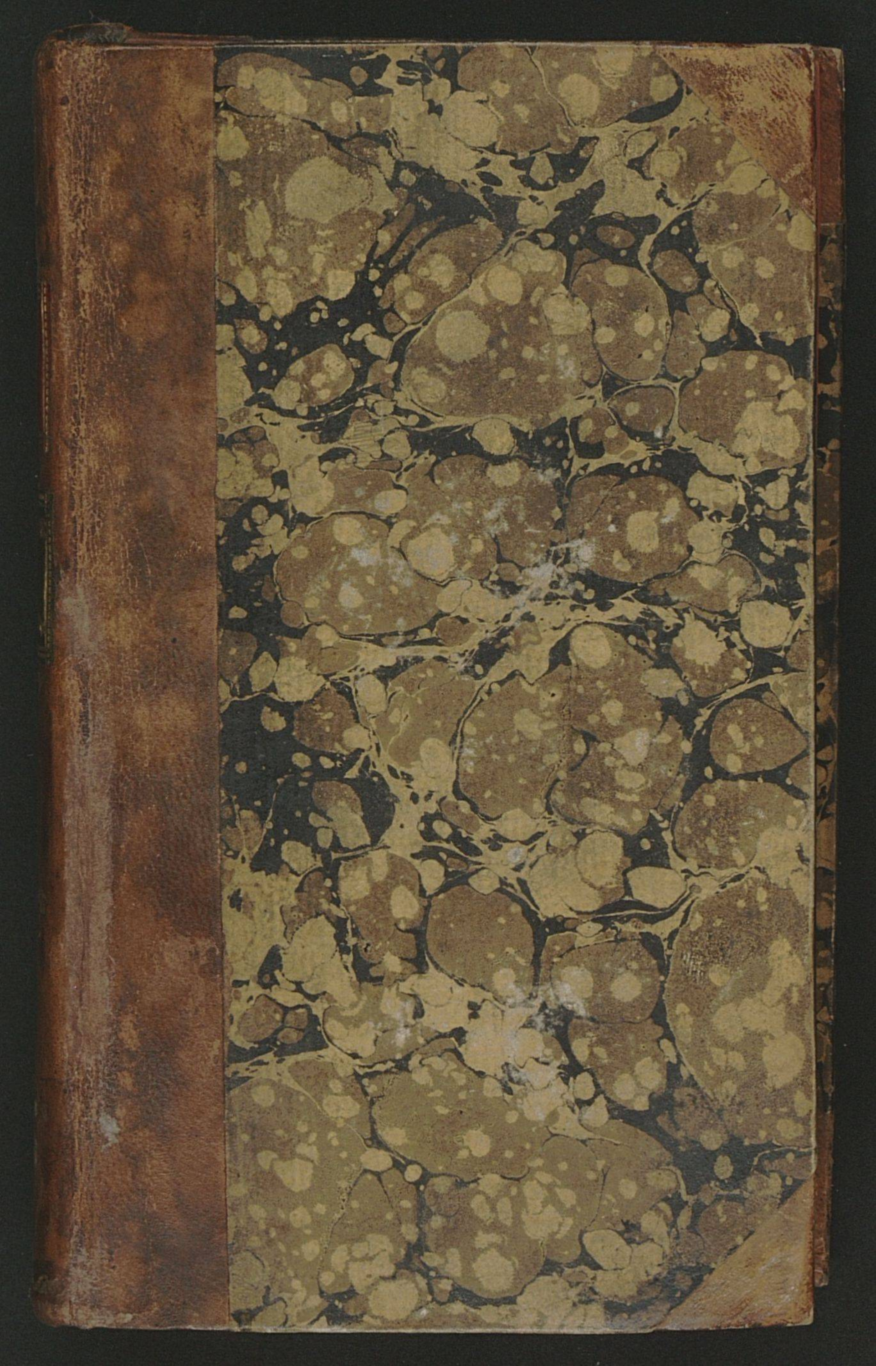


LEÇONS
DE PHYSIQUE
EXPÉRIMENTALE.

Par M. l'Abbé NOLLET, *de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, &c. Maître de Physique & d'Histoire Naturelle des Enfants de France, & Professeur Royal de Physique Expérimentale au College de Navarre, & aux Ecoles du Génie & de l'Artillerie.*

TOME TROISIEME.

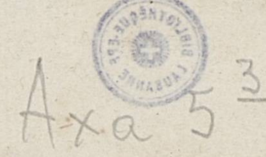
CINQUIEME ÉDITION.



A PARIS,
Chez LOUIS-FRANÇOIS DELATOUR, rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. LXVI. [1766]

Avec Approbation & Privilege du Roi.




BIBLIOTHÈQUE EPF
LAUSANNE

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de maniére qu'en s'ouvrant elles puissent sortir entiérement du livre, & se voir à droite, dans l'ordre qui suit.

TOME TROISIEME.

	Pages.	Planches.
IX. LEÇON.	24	1.
	42	2.
	68	3.
	86	4.
	98	5.
	106	6.
	124	7.
	136	8.
	170	9.
X. LEÇON.	192	1.
	216	2.
	234	3.
	254	4.
	288	5.
	336	6.
XI. LEÇON.	414	1.
	440	2.
	472	3.
	504	4.

EXTRAIT DES REGISTRES de l'Académie Royale des Sciences.

Du 6 Mars 1745.

MOnſieur DE REAUMUR & moi, qui avions été nommés pour examiner *le troiſieme Volume des Leçons de Phyſique Expérimentale* de M. l'Abbé NOLLET, en ayant fait notre rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impreſſion : en foi de quoi j'ai ſigné le préſent Certificat. A Paris, ce 6 Mars 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY,
Secretaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences.

LEÇONS



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.



APRES avoir enseigné, dans les Leçons précédentes, les propriétés & les loix du mouvement, tant pour les corps solides, que pour les fluides, il nous reste à parler dans celle-ci des moyens par lesquels on peut l'employer, ou plus commodément, ou avec plus d'avantage. Ces moyens sont les *Machines*, c'est-à-dire, certains corps ou assemblages d'une construction plus ou moins simple, qui

IX. LEÇON.

IX. Leçon.

transmettent l'action d'une puissance sur une résistance, & qui la font croître ou diminuer en variant les vîtesses.

La science qui traite des machines s'appelle *Méchanique* ; elle suppose, dans celui qui s'y applique, des connoissances suffisantes de Mathématiques & de Physique ; car un Méchanicien doit non-seulement estimer & mesurer des forces opposées entr'elles relativement à leurs positions respectives & à leurs directions ; mais il faut encore qu'il sçache distinguer qu'elle est la nature de ces forces, ce qui peut s'y mêler d'étranger, par la qualité des matieres qu'on employe, par la circonstance du lieu, du tems, &c. Celui qui ne posséderoit que la partie physique, pourroit faire des machines durables, & bien assorties, quant à l'assemblage des piéces & à leur maniere de se mouvoir ; mais il courroit risque de se tromper souvent dans les proportions, & les effets se trouveroient rarement tels qu'il les auroit attendus. Celui qui n'auroit que des connoissances purement mathématiques, & qui ne considéreroit que des lignes & des points dans les quantités dont

il voudroit faire usage, trouveroit sans doute beaucoup de déchet après l'exécution. Enfin celui qui ne seroit ni Géométre, ni Physicien, travailleroit absolument en aveugle, & ne pourroit se flatter de réussir que par un pur hazard, souvent après bien des tentatives inutiles, pénibles & presque toujours dispendieuses. C'est une vérité que l'expérience prouve depuis long-tems, & qui devroit corriger bien des gens dont le travail est infructueux ; mais de même que l'amour-propre, & l'envie d'être Auteur, fait imprimer quantité de mauvais Ouvrages, malgré la critique ; les mêmes motifs, & souvent l'appas du gain, font faire aussi les frais d'un nombre prodigieux d'inventions qui ne verroient pas le jour, si ceux qui les imaginent en sçavoient assez pour en bien juger.

Les mauvaises machines naissent plus fréquemment que les bonnes ; & c'est ce qui décrédite un peu la Méchanique dans l'esprit de plusieurs personnes qui confondent injustement le Machiniste avec le vrai Méchanicien : on revient aisément de

IX. LEÇON.

cette idée, quand on fait attention que des Sçavans du premier ordre, Archytas, Ariſtote, Archimédes, &c. parmi les Anciens; MM. Mariotte, Amontons, de la Hire, Varignon, &c. parmi les modernes, ſe ſont appliqués particuliérement à la ſcience des machines utiles, & ſe ſont rendus recommandables par les progrès qu'ils y ont faits. Les découvertes de ce genre font autant d'honneur, & ne méritent pas moins d'applaudiſſemens que celles de toute autre eſpéce: l'objet de cette ſcience n'eſt-il pas très-utile en lui-même? & la ſociété n'en retire-t-elle pas des avantages conſidérables? Jugeons de ce que nous en pouvons attendre par les productions dont nous jouiſſons actuellement; les moulins qui nous préparent la farine, ceux qui foulent nos étoffes, ou qui nous tirent l'huile des végétaux, les différentes pompes qui élévent l'eau pour nos uſages & pour la décoration de nos jardins, les voitures qui nous épargnent tant de fatigues, & qui rendent les tranſports ſi faciles & ſi commodes; les poulies, les grues, les cabeſtans

dont l'application eſt ſi avantageuſe & ſi fréquente dans l'architecture & dans la navigation : les ponts-levis, & quantité d'autres moyens dont on ſe ſert pour défendre les places, ne ſont-ils pas autant de machines dont nous ſentons tous les jours l'utilité, & qui deviennent même néceſſaires ſelon les circonſtances ? On doit aſſurément ſçavoir bon gré à ceux qui veulent bien ſe refuſer aux attraits ſéduiſans de la haute Géométrie, pour ſe donner le loiſir d'en appliquer les principes à des recherches de cette nature : elles ſont moins brillantes, que la ſolution des grands problêmes ; mais elles ne m'en paroiſſent pas moins eſtimables, parce qu'elles tendent plus directement au bien de la ſociété, & qu'elles ont, pour l'ordinaire, des applications plus promptement, & quelquefois plus généralement utiles.

On diſtingue communément deux ſortes de machines ; celles qui ſont *ſimples*, & celles qui ſont *compoſées* : les premieres ſont comme les élémens des autres, & ce ſont elles qui vont faire principalement le ſujet de

IX. LEÇON.

cette Leçon ; car la multiplication & l'aſſemblage des machines ſimples dans un même tout, n'apporte aucun changement eſſentiel à leurs propriétés, & nous ne devons pas entreprendre de faire une énumération complette de toutes les machines compoſées qui ont été miſes au jour pour faire connoître toutes les applications qu'on y a faites de celles qui ſont ſimples. Nous nous contenterons d'indiquer celles qui ſont le plus en uſage, dont la conſtruction pourra s'entendre plus facilement, & qui n'auront pas beſoin de ces deſcriptions longues & détaillées qui ne peuvent avoir place dans cet Ouvrage.

Le nombre des machines ſimples varie ſelon la maniere d'eſtimer leur ſimplicité ; les uns regardant comme ſimple ce que d'autres conſidérent comme étant déja compoſé, c'eſt une choſe aſſez arbitraire & peu importante : pour moi ſans déſapprouver les opinions qui différent de la mienne à cet égard, je ne compte que trois ſortes de machines ſimples ; ſçavoir, le *Levier*, le *Plan incliné*, & les *Cordes*. Mais avant que d'entrer

en matiére, il eſt à propos d'établir quelques notions générales, qui rendront notre théorie plus facile à ſaiſir, & de prévenir auſſi quelques difficultés qui pourroient naître dans le cours de nos explications. IX. LEÇON.

Dans une machine, il y a quatre choſes principales à conſidérer ; la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou centre de mouvement, & la vîteſſe avec laquelle on fait mouvoir la puiſſance & la réſiſtance.

On appelle *puiſſance* une force quelconque, ou pluſieurs enſemble, qui concourent à vaincre un obſtacle, ou à ſoutenir ſon effort ; ainſi les hommes ou le cheval qui remontent un bateau contre le courant de la riviére, le poids d'un tourne-broche, ceux d'une horloge ou d'une pendule, doivent être regardés comme la puiſſance ou force motrice.

Quand la puiſſance qu'on employe dans une machine eſt l'effort d'un animal, on doit l'eſtimer relativement à la nature & à la durée du travail. Car quoiqu'un cheval puiſſe vaincre pour un tems fort court une force de 500 ou 600 livres, & qu'un homme

IX. LEÇON.

ſoutienne pendant quelques inſtants un fardeau de 100 ou 150 livres, quand il s'agit de travailler de ſuite, on ne doit pas compter ſur un effort qui excéde 25 ou 30 livres de la part d'un homme, & environ 180 livres de la part d'un cheval; encore faut-il qu'ils agiſſent avec liberté, & qu'ils ne ſoient pas gênés, ſoit par la diſpoſition de la machine à laquelle on les applique, ſoit par la ſituation du terrein, ou autrement.

Si la puiſſance eſt un poids ou un reſſort, il peut arriver qu'elle ne ſoit pas d'une valeur conſtante : car, 1°. à meſure qu'un reſſort ſe déploye, ſon effort diminue. & ſi la machine n'eſt point faite d'une maniere qui ſupplée à cette diminution, les efforts ne peuvent pas être auſſi grands à la fin qu'au commencement. 2°. Nous avons fait voir, en parlant de la peſanteur, que l'accélération augmente la force des corps qui tombent librement, c'eſt-à-dire, avec une vîteſſe très-ſenſible; ainſi dans tous les cas où le mouvement eſt imprimé par le choc d'un corps qui tombe, la machine en reçoit d'autant plus que

le moteur deſcend de plus haut.

La *réſiſtance* eſt une autre force ou la ſomme de pluſieurs obſtacles qui s'oppoſent au mouvement de la machine que la puiſſance anime ou fait mouvoir ; tel eſt un bloc de pierre ou de marbre qui réſiſte par ſon poids à l'action des hommes qui font effort pour le traîner ou pour l'enlever, par le moyen d'un treuil, d'un cabeſtan, d'une grue, &c.

La réſiſtance n'eſt pas toujours une quantité conſtante comme un poids qu'on veut enlever ; ſouvent ce ſont des reſſorts à tendre, des corps à diviſer, des fluides à ſoutenir ; & en pareils cas, la puiſſance a plus ou moins à faire au commencement de ſon action qu'à la fin. Pour n'être point pris en défaut, on doit proportionner la machine de façon, que la réſiſtance, étant la plus grande qu'elle puiſſe être, ſe trouve encore inférieure à la force motrice. Ainſi lorſqu'il s'agit, par exemple, de faire monter l'eau par le moyen d'une pompe, on doit conſidérer le tuyau montant comme étant toujours plein, quoiqu'il ne le ſoit véritablement

IX. LEÇON. qu'après un certain nombre de coups de piſtons, pendant leſquels la force motrice eſt plus que ſuffiſante.

On appelle *Point d'appui*, *Centre de mouvement*, ou *Hypomochlion*, cette partie d'une machine, autour de laquelle les autres ſe meuvent; c'eſt dans une balance, l'endroit de la chaſſe ſur lequel repoſe l'axe du fléau; c'eſt dans une roue de carroſſe, l'extrémité du rayon qui touche actuellement le terrein, lorſqu'elle roule: c'eſt la penture d'une porte, l'axe d'une poulie, &c.

Le centre du mouvement n'eſt pas toujours un ſeul point fixe; dans bien des occaſions, c'eſt une ſuite de points qui forment une ligne; tel eſt l'axe d'une ſphère, telles ſont les charniéres, & tout ce qui en fait l'office.

Le point d'appui, bien ſouvent, n'eſt fixe que relativement à la révolution dont il eſt le centre: il peut être mobile d'ailleurs; tel eſt, par exemple, l'eſſieu d'une charrette qui eſt emporté dans une direction paralléle au terrein, pendant qu'il eſt le centre du mouvement des roues; quelquefois même c'eſt l'action d'un

corps animé qui ſert d'appui, comme lorſque deux hommes portent enſemble quelque fardeau ſur un bâton dont ils ſoutiennent chacun un bout ; l'un des deux, indifféremment, peut être regardé ou comme puiſſance, ou comme point d'appui.

Les vîteſſes ſe meſurent par les eſpaces que parcourent la puiſſance & la réſiſtance, ou qu'elles parcourroient, eu égard à la diſpoſition de la machine, ſi l'une emportoit l'autre. Un homme, par exemple, qui tire un fardeau par le moyen d'un cabeſtan, décrit, en marchant, la circonférence d'un cercle ; & pendant qu'il parcourt ce chemin, le fardeau s'approche d'une certaine quantité : ce ſont ces eſpaces parcourus de part & d'autre qui déterminent les vîteſſes reſpectives; car le tems eſt égal pour l'un & pour l'autre. De même quand les deux baſſins d'une balance ſont en repos par cauſe d'équilibre, on connoît leurs vîteſſes, par le chemin qu'ils feroient en même-tems, l'un en montant, l'autre en deſcendant, ſi le mouvement avoit lieu.

La peſanteur eſt une force qui

IX. LEÇON.

s'employe ſouvent en méchanique comme puiſſance ou comme réſiſtance : quoiqu'elle appartienne également à toutes les parties de matiére renfermées ſous un même volume ; pour plus de ſimplicité, nous la conſidérerons comme réſidente en un ſeul point, que nous nommerons, *Centre de gravité.*

Ce centre de gravité, ou de peſanteur, n'eſt pas toujours celui de la figure ; c'eſt un point par lequel un corps étant ſuſpendu, toutes ces autres parties demeurent en repos, & avec lequel elles ſe meuvent toutes lorſqu'il ceſſe d'être appuyé. Delà il eſt aiſé de comprendre que ce point ne ſe trouve juſtement au milieu que dans les corps dont les parties ſont homogénes, & la figure ſymmétriſée. Dans une boule bien ronde, par exemple, & d'une denſité bien uniforme, il eſt évident que tous les rayons, ou demi-diamétres, ſont égaux & de même poids ; égaux, à cauſe de la figure parfaitement ſphérique ; de même poids, à cauſe de l'homogénéité des parties : tout eſt donc en équilibre autour d'un point qui eſt en même-

tems centre de gravité & de figure. Il n'en est pas de même d'une fléche dont le bout est ferré, ou d'une plume à écrire ; si l'on partage sa longueur en deux parties égales, l'une se trouvera plus pésante que l'autre, & la section n'aura point passé par le centre de sa pesanteur, quoiqu'elle se soit faite à celui de sa figure.

De la même maniére que l'on conçoit toute la pesanteur d'un corps réunie dans un seul point, on considére pareillement, dans un espace infiniment petit, celle de plusieurs corps qui concourent à une même action par leurs poids. Quand plusieurs masses pésent sur une même corde par des fils qui les y attachent, on peut regarder le noeud commun de ces fils comme le centre des pesanteurs particulieres. *A*, *B*, *Figure* 1. étant donc les centres de gravité des deux corps suspendus, leurs actions se réunissent en *C* ou dans tout autre point que l'on voudra choisir de la ligne *Cd*, pourvû que le poids *A* soit égal au poids *B* ; car si l'une des deux boules étoit de bois, & l'autre de pierre, le centre de la plus pesante s'appro-

IX. LEÇON.

cheroit davantage de la ligne *cD*, & la ligne *ab* feroit partagée par la direction *c D* en deux parties inégales, dont la plus longue feroit à la plus courte, comme le plus grand poids au plus petit.

Quel que puiſſe être le nombre de ces corps peſans, ſi l'on connoît le centre de gravité de chacun d'eux, on détermine facilement l'endroit où ſe réuniſſent leurs forces, parce que les diſtances ſont connues; mais ceci s'entendra mieux quand nous aurons expliqué la théorie du levier.

La peſanteur a une intenſité différente lorſque les corps ſont plus ou moins éloignés du centre de la terre où ils tendent; mais dans la ſuite de cette Leçon, nous n'aurons point égard à cette différence, parce qu'elle n'eſt jamais ſenſible dans l'étendue que peut avoir une machine; ainſi nous ſuppoſerons qu'un poids dont la chûte n'eſt point accélérée, exerce toujours la même force ou la même preſſion dans toute ſa direction. Un ſceau plein d'eau qui péſe 100 livres ſur la poulie du puits lorſqu'il eſt en haut, eſt donc cenſé peſer autant

lorſqu'il eſt 50 ou 60 pieds plus bas, (abſtraction faite du poids de la corde;) & celui qui ſonne une cloche fait toujours le même effort, ſoit que la corde ait beaucoup ou peu de longueur.

IX. LEÇON.

Nous regarderons auſſi comme paralléles les directions de deux poids diſtans l'un de l'autre, quoiqu'à la rigueur elles ſoient un peu inclinées entr'elles, puiſque tous les corps graves tendent à un même point qui eſt le centre de la terre; mais nous en ſommes trop éloignés, pour avoir à craindre aucun mécompte, en négligeant cette inclinaiſon.

Pour écarter tout ce qui eſt en quelque façon étranger à notre objet préſent, dans toute cette Leçon nous ferons abſtraction des frottemens & de la réſiſtance des milieux; obſtacles cependant dont on doit bien tenir compte dans la pratique, & qui, lorſqu'on les néglige, ou qu'on manque à les eſtimer ſelon leur valeur, cauſent des erreurs conſidérables dans les calculs que l'on fait ſur le produit des machines, comme nous l'avons fait voir dans la troiſiéme Leçon, en

expliquant la premiere loi du mouvement.

IX. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

Du Levier.

UN Levier considéré mathématiquement n'est autre chose qu'une ligne droite sans pesanteur qui regle les distances & les positions de la puissance, de la résistance & du point d'appui. Si dans la pratique cette ligne devient pesante & courbe, son poids doit être considéré comme faisant partie de la puissance ou de la résistance, & sa courbure peut toujours se réduire à la distance qu'elle met entre ces deux forces, eu égard à leurs directions, ou bien entre l'une des deux & le point d'appui : ainsi *E F G Fig.* 2. équivaut à *e g ;* & si les deux parties *E F*, *F G*, sont de fer, ou de quelque autre matiére sensiblement pesante, chacune fait partie de la masse *E*, ou *G*, qu'elle soutient.

On distingue ordinairement trois genres de Leviers par les différentes positions

positions que l'on peut donner à la puissance, à la résistance & au centre du mouvement ou point d'appui. On pourroit, en suivant l'exemple de quelques Auteurs célébres *, regarder comme deux autres puissances, ce que j'ai nommé résistance & point d'appui ; & alors la distinction des leviers en trois genres n'auroit plus lieu : mais il m'a semblé qu'il y avoit quelque avantage à suivre la méthode la plus usitée dans une Leçon, qui est moins un traité de méchanique, qu'un simple exposé des principes de cette science. Pour représenter donc ces trois sortes de leviers, je désignerai la puissance ou force motrice par une main *A*, la résistance par un poids *B* ; & le point d'appui par un pivot *C.* *

* *Traité de Méchaniq. de M. de la Hire.*

* *Fig.* 3, 4, 5, 6.

Les leviers du premier genre sont ceux où le point d'appui est entre la puissance & la résistance *Fig.* 3.

Ceux du second genre ont la résistance entre le point d'appui & la puissance *Fig.* 4.

Dans ceux du troisiéme genre, la puissance est placée entre le point d'appui & la résistance *Fig.* 5.

IX. LEÇON.

Les espéces de chaque genre se distinguent par la distance qu'il y a de la puissance au point d'appui, relativement & par comparaison à celle qui est entre ce même point & la résistance. Si, par exemple, le pivot, au lieu d'être en *C* étoit en *c*, *Fig.* 3. ce seroit toujours un levier du premier genre; mais l'espéce seroit différente; ainsi pour s'exprimer exactement sur quelque levier que ce puisse être, on dira: « Il est de tel ou tel genre, » & les distances des forces résistantes » & motrices au point d'appui, sont » entr'elles dans le rapport de 2 à 3, » ou à 4, ou à 5, &c. »

La distance de ces deux forces au point d'appui détermine le chemin qu'elles ont à faire, & par conséquent leurs vîtesses; car, puisque l'une ne peut se mouvoir sans l'autre, il est évident que la puissance *A*, *Fig.* 6. n'employera pas plus de temps à parcourir l'arc *A a*, que la résistance en consumera pour achever le sien B*b*. Quand les tems sont égaux, les vîtesses doivent se comparer par les espaces parcourus ou à parcourir, comme nous l'avons enseigné *, en par-

* Tom. I, p. 193. & suiv.

lant des propriétés du mouvement. Ainſi comme les arcs *Aa*, & *Bb*, ſuivent entre eux le rapport de leurs rayons *AC*, & *BC*, il eſt certain qu'en connoiſſant ces deux dernieres diſtances, on ſçait la vîteſſe de la puiſſance & celle de la réſiſtance. D'où il ſuit :

IX. LEÇON.

1°. Qu'un poids agiſſant comme puiſſance ou comme réſiſtance, par un levier placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il eſt plus éloigné du point d'appui.

2°. Que deux maſſes égales oppoſées l'une à l'autre ſur un ſemblable levier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles ſont à égales diſtances du point d'appui, & qu'elles agiſſent en ſens contraires.

3°. Que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs diſtances au point d'appui ſont réciproquement comme les maſſes.

Ces trois propoſitions deviendront ſenſibles par des expériences.

IX. LEÇON.

I. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 7. repréſente une planche élevée verticalement ſur une baſe & percée à jour par une rainure *H I*; la piéce *K* eſt une eſpéce de chaſſe qui peut ſe placer à différens endroits de la rainure par le moyen d'une queue à vis qui traverſe celle-ci, & qui s'arrête par derriere avec un écrou. *L M*, eſt une petite boîte de métal qui ſe meut ſur deux pivots dans la chaſſe, & dans laquelle on fait gliſſer le levier *NO*, pour l'arrêter à tel endroit qu'on ſouhaite de ſa longueur : par ce moyen le point fixe change de place, non-ſeulement ſur la planche, mais même ſur le levier ; les extrémités de ce levier ſont percées pour recevoir des poids qui portent chacun une petite boucle en-deſſous pour en recevoir d'autres. *P* eſt une maſſe qui eſt enfilée par le levier, & que l'on y arrête à tel endroit qu'il convient, pour le mettre en équilibre avec lui-même, dans les cas où le point d'appui n'eſt pas placé au milieu de ſa longueur. Q

est une poulie très-mobile sur son axe, dont la mouffle se place en fourchette, & à telle distance que l'on veut sur le haut de la planche; cette poulie est embrassée par un cordon qui porte d'un côté un poids, & de l'autre un crochet pour soutenir le levier, dans les cas où le point fixe se trouve placé à l'une des deux extrémités.

IX. LEÇON.

Avec cette machine ainsi préparée, on peut mettre en expérience les leviers de tous les genres & de toutes les espéces, varier la puissance & la résistance, non-seulement quant à leurs distances au point d'appui, mais encore quant à leurs masses, ou quantités absolues, & par le moyen du contrepoids *P*, le levier peut toujours ressembler à une ligne mathématique, inflexible & sans poids.

Ces moyens étant donc supposés, nous nous abstiendrons de les faire reparoître dans nos figures, & nous représenterons chaque expérience par des lignes, afin d'écarter de nos explications ce qui est étranger, & de n'occuper l'attention du Lecteur que de l'objet dont il sera question.

IX. LEÇON.

Ayant donc diſpoſé le levier de maniere que ſon point fixe ſe trouve entre deux poids, comme il eſt repréſenté par la *Fig*. 8. on remarquera ce qui ſuit.

EFFETS.

1°. Si le point fixe eſt en *a*, c'eſt-à-dire, qu'il partage le levier en deux bras égaux, une puiſſance d'une livre ſoutient une réſiſtance de même poids.

2°. Si le point fixe eſt en *b*, le bras de la puiſſance eſt deux fois auſſi long que celui de la réſiſtance ; une livre en *P* ſoutient deux livres en *R*.

3°. Si le point fixe eſt en *c*, il y a trois fois auſſi loin de *c* en *p*, que de *c* en *r* ; la même livre employée en *P* en ſoutient trois placées en *R*.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut diſpoſer la machine que nous avons décrite *, de maniere que le point fixe ſe trouve à l'une des deux extrémités du levier, & que l'anneau dans lequel paſſe le levier

* *Fig*. 7.

ſoutenu par la puiſſance *P*, puiſſe ſe placer d'abord au point 2, & enſuite au point 1. Voyez la *Fig.* 9.

Effets.

Dans le premier cas, *R* peſant une livre, fait équilibre à *P*, dont le poids eſt 1 livre $\frac{1}{2}$.

Dans le ſecond cas, pour avoir équilibre, il faut mettre les deux poids dans le rapport de 3 à 1, c'eſt-à-dire, que la maſſe *P* qui n'eſt éloignée du point d'appui que d'un eſpace, doit peſer 3 livres pendant que l'autre *R* qui eſt à la troiſiéme diſtance, n'en péſe qu'une.

Ce levier qui eſt du troiſiéme genre, repréſente auſſi celui du ſecond, ſi l'on conſidére comme réſiſtance, ce que nous avons regardé comme puiſſance.

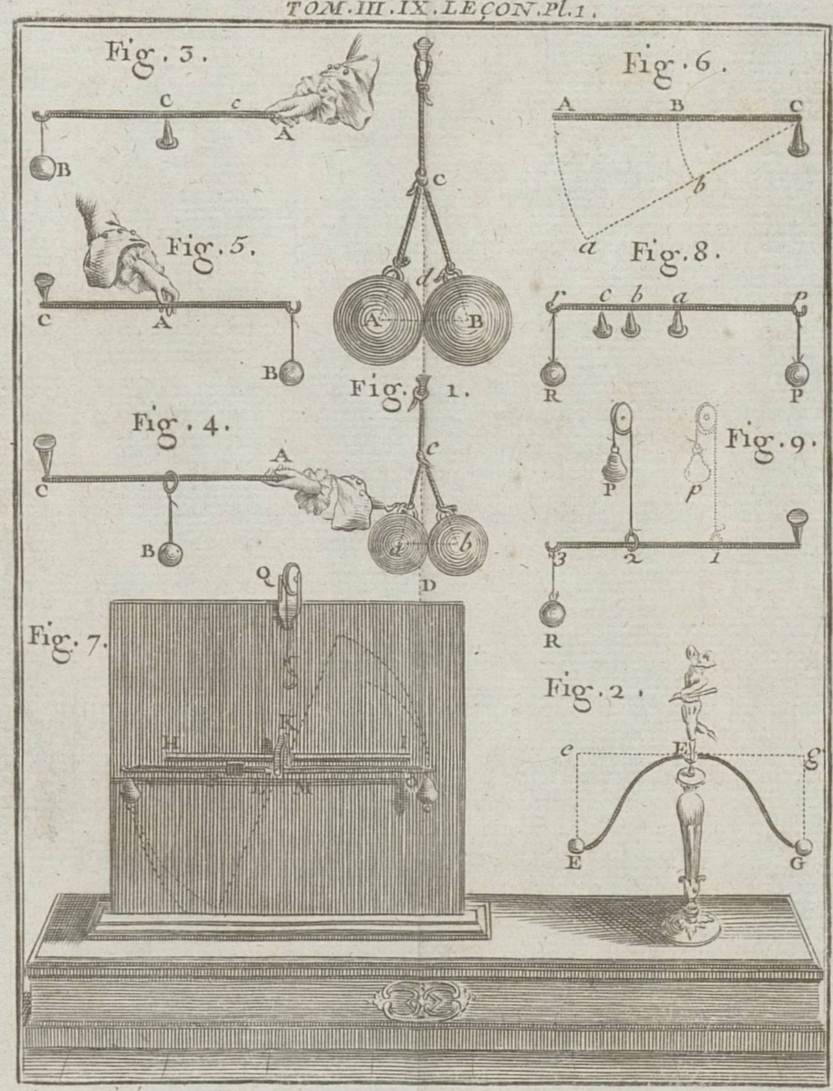
Explications.

Les principes que j'ai établis d'abord, laiſſent peu de choſes à dire pour expliquer les faits qui ſont rapportés dans ces deux premieres expériences. L'action ou la force d'un corps ſe meſure par la quantité de

IX. LEÇON.

mouvement qu'il a, ou qu'il auroit, s'il n'étoit pas retenu; or la quantité du mouvement résulte de la masse multipliée par la vîtesse. Sur un même levier la puissance & la résistance ne peuvent se mouvoir qu'en même tems; leurs vîtesses, c'est-à-dire, celles qu'elles ont, ou qu'elles auroient, si le mouvement avoit lieu, ne peuvent donc différer que par les espaces. S'il y a équilibre entre 1 livre & 1 livre, sur un levier horizontal partagé en deux bras égaux par le point d'appui, comme on l'a vû dans le premier résultat de la premiére expérience, c'est que ce levier ne peut se mouvoir, sans que les deux poids parcourent des arcs égaux en même-tems, ou (ce qui est la même chose) sans qu'ils ayent la même vîtesse; égalité de vîtesses, & égalité de masses de part & d'autre, produisent des efforts égaux, qui se détruisent réciproquement, parce qu'ils se font en sens contraires, ce que l'on appelle *équilibre.*

Dans le second résultat on voit une livre qui en soutient deux, parce qu'elle est tellement placée qu'elle



Moreau Sculp.

auroit deux fois plus de vîteſſe que le poids oppoſé ; 1 de maſſe multiplié par 2 de vîteſſe, équivaut à 1 de vîteſſe multiplié par 2 de maſſe. Il eſt facile d'appliquer ce calcul aux autres effets.

COROLLAIRE.

Puiſqu'une puiſſance appliquée à un levier croît toujours à meſure qu'elle s'éloigne du point d'appui, comme on l'a pû voir par les expériences précédentes ; on doit en tirer cette conſéquence, qu'une très-petite force, par le moyen d'un levier aſſez long, peut faire équilibre, ou vaincre une autre force infiniment plus grande. Archimédes avoit donc raiſon de dire qu'il enleveroit la terre entiere, s'il avoit un point fixe qui en fût ſéparé : car en établiſſant ſur cet appui un lévier dont le bras du côté de la puiſſance, ſurpaſſât en longueur celui auquel il auroit attaché le globe terreſtre, autant ou plus que le poids de ce globe ne l'emporte ſur la force d'un homme, il eſt évident par les principes établis ci-deſſus, qu'il eût acquitté ſa promeſ-

IX. Leçon.

ſe, par une démonſtration, ſans doute; car il eſt inutile de dire, que le levier dont il faudroit faire uſage dans une telle opération, ne peut jamais paſſer que pour un être de raiſon, comme le point fixe qu'il demandoit.

Applications.

Les léviers ſont d'un uſage ſi commun non-ſeulement dans les Arts, mais même dans la vie civile & dans le méchaniſme de la nature; qu'on les rencontre preſque par-tout, pour peu qu'on y faſſe attention. Nous nous bornerons à quelques exemples, pour ne point entrer dans un détail trop long & ſuperflu.

Les Charpentiers, les Maçons & autres Ouvriers qui ont à remuer de grandes pierres, ou de groſſes piéces de bois, ſe ſervent très-ſouvent d'une barre de fer arrondie dans preſque toute ſa longueur, un peu coudée, & applatie par un bout. Cet inſtrument qu'ils appellent communément *pied de chevre*, s'employe principalement de deux manieres. Quelquefois après avoir engagé l'extrémité applatie, qu'on nomme *la pince*,

entre la piéce qu'on veut mouvoir, & le terrein ſur lequel elle repoſe, on fait porter le coude *A*, *Fig.* 10. ſur quelque corps dur, & alors en appuyant ſur l'autre bout de la barre *B*, on ſouleve le fardeau, d'une petite quantité à la vérité, mais aſſez pour donner la liberté de gliſſer deſſous une corde, un rouleau, &c. ce qui ſuffit le plus ſouvent. D'autres fois auſſi on avance un peu plus la pince ſous la piéce qu'on veut remuer, & en ſoulevant la barre, on fait effort contre la partie *C* qui repoſe deſſus. *Fig.* 11.

Le pied de chévre, comme l'on voit, n'eſt autre choſe qu'un levier, qui eſt du premier genre dans l'uſage que nous avons cité d'abord; car le point *A*, qui eſt l'appui, ſe trouve placé entre la puiſſance & la réſiſtance. Dans l'autre uſage, il eſt du ſecond genre, puiſque la réſiſtance ſe fait au point *C*, entre la puiſſance & le bout de la pince qui eſt appuyé par terre.

Comme cet inſtrument s'employe, pour l'ordinaire, à ſoulever de grands fardeaux, l'endroit du coude qui ſert

IX. LEÇON.

de point d'appui, ou qui reçoit l'effort de la résistance, est toujours fort loin du bout que l'on tient à la main; ainsi la puissance, toujours beaucoup plus éloignée du point d'appui, que la résistance, a sur elle un avantage considérable par cette position.

Les rames des Bateliers sont des leviers du second genre, dont on appuye un bout contre l'eau, pendant que la puissance appliquée à l'autre bout porte son effort à l'endroit du bateau oû la rame est attachée : cet endroit partage la longueur de la rame en deux parties, dont l'une frappe l'eau, pendant que l'autre est mise en mouvement par les bras du Batelier: il seroit sans doute avantageux que l'une & l'autre fussent fort longues; la premiere, parce qu'elle répondroit à un plus grand volume d'eau, & que le point d'appui en deviendroit plus fixe; la seconde, parce qu'elle mettroit une plus grande distance entre la puissance & le point d'appui : mais il y a aussi des raisons qui obligent de borner cette longueur de part & d'autre selon les circonstances.

On ne peut allonger les rames du côté de la puissance sans exiger d'elle un plus grand mouvement; celui d'un homme est borné à une certaine étendue, au-de-là de laquelle il travaille avec trop de fatigue : on en peut juger par la manœuvre des forçats lorsqu'ils sont quatre ou cinq appliqués à la même rame; ceux qui sont au bout, quoique les plus robustes, peuvent à peine résister quelques années à ce violent exercice. Dans les petits bateaux où un seul homme fait agir deux rames, cette même longueur est encore bornée par le peu de distance qu'il y a d'un bord à l'autre; car le Batelier qui est assis au milieu de cet espace, est la puissance commune à l'une & à l'autre rame. IX. Leçon.

Les rames qui sont fort allongées du côté de l'eau, exigent une navigation fort libre; on ne peut guères en faire usage dans les petites rivières, dans celles qui ont beaucoup de sinuosités, qui sont remplies d'isles & de rochers, ou même dans les ports qui sont très-fréquentés, à cause des embarras qui s'y trouvent; c'est par ces raisons sans doute que les ra-

IX. Leçon.

mes varient & de formes & de dimenſions, ſuivant les circonſtances des lieux, & les différentes maniéres de les employer.

Le couteau du Boulanger eſt encore un levier du ſecond genre, lorſqu'arrêté par un bout ſur une table, & tournant autour d'un point fixe, il eſt porté par la main qui tient le manche, contre un pain qu'il entame.

La baſcule eſt un levier du premier genre qu'on reconnoît d'abord, lorſqu'on ſe repréſente une longue piéce de bois, appuyée par ſon milieu, & chargée à ſes extrémités de deux perſonnes, dont l'une eſt enlevée par l'autre, lorſqu'en touchant le terrein, du pied ou autrement, elle ſoulage d'une partie de ſon poids le bras du levier où elle eſt.

Les ciſeaux, les pinces, les pincettes, les tenailles, ne ſont encore que des leviers aſſemblés par paires; l'effort de la main ou des doigts qui ménent les deux branches, doit être conſidéré comme la puiſſance; le clou, ou ce qui en tient lieu, eſt un point fixe commun aux deux; & ce que l'on coupe, ou ce que l'on ſerre, devient la réſiſtance.

Ceux de ces instrumens qui sont destinés à faire de grands efforts, comme les cisailles des Chaudroniers, ou des Ferblantiers, qui coupent des métaux, ont les branches fort longues par comparaison aux parties tranchantes qu'on nomme les *Couteaux* : de cette maniere la puissance agissant par un bras de levier très-long, est capable de vaincre une résistance fort grande. Par la raison du contraire, dans les pincettes qu'on nomme *Badines*, & qui n'ont d'autre effort à faire, que de transporter quelques charbons, cette légere résistance se fait aux extrémités de deux longues branches, qui sont des leviers du troisiéme genre; l'endroit où ils se joignent par une charniére ou par un ressort foible, doit être regardé comme le point d'appui; & la main qui les fait agir, est la puissance.

Les ciseaux dont on se sert pour découper ont les branches fort longues, & les lames très-courtes; ce n'est pourtant pas qu'on ait besoin d'une grande force pour couper du papier mince : mais comme dans la découpure on a souvent de petites

IX. LEÇON.

parties à réserver, il faut que l'on puisse arrêter à propos les ciseaux; & cela se peut faire facilement, quand le mouvement des doigts qui meut les branches, a beaucoup plus d'étendue que celui des lames.

Enfin les bras, les doigts, les jambes des animaux sont encore des leviers ou des assemblages de leviers, par lesquels la force des muscles est employée de la maniere la plus convenable & la plus avantageuse, soit pour transporter le corps, soit pour approcher de lui tout ce qui lui est nécessaire ou utile, soit pour en écarter tout ce qui lui seroit nuisible. Un Auteur célébre * a fait connoître en détail, & dans un ouvrage exprès, ce qu'il y a de plus remarquable dans cet admirable Méchanisme; ceux qui ont du goût pour l'anatomie y trouveront de quoi le satisfaire.

* *Borelli, de motu animalium.*

DANS les deux premieres expériences, le levier étant soutenu horizontalement, nous avons employé pour puissance & pour résistance des corps pesans dont les efforts se faisoient dans des directions verticales, c'est-à-dire, qu'elles faisoient des angles droits

avec la longueur du levier au moment que ces forces commençoient à agir. Mais il peut arriver, & il arrive très-souvent, soit par la situation du levier, soit par la nature des puissances qu'on employe, que leurs efforts se font obliquement; & comme en général toute force qui agit obliquement, a moins d'effet que celle dont l'action est directe, il est important de connoître ce qu'on doit attendre de cette obliquité dans l'usage des leviers.

Lorsque les directions de la puissance & de la résistance sont obliques à la longueur du levier, il peut arriver qu'elles le soient toutes deux également; il peut se faire aussi que ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, & que l'une ou l'autre soit plus ou moins inclinée au levier; dans ces différens cas, voici ce qu'il y a de plus important à sçavoir.

1°. L'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du levier, par l'extrémité duquel elle agit. Ainsi le poids *B*, *Fig.* 12. ne suffiroit plus pour soutenir ce-

IX. LEÇON.

lui qui eſt en *A*, ſi, au lieu de peſer dahs la direction *b B*, il faiſoit ſon effort obliquement, comme *b D*, ou *b E*.

2°. Deux forces qui agiſſent l'une contre l'autre, par les deux bras d'un même levier, gardent entr'elles le même rapport, ſi leurs directions, de perpendiculaires qu'elles ſont, deviennent également obliques au levier. C'eſt-à-dire, que ſi les poids *P*, *R*, *Fig.* 13. ſont en équilibre, cet état ſubſiſtera entr'eux; ſi leurs directions, s'inclinant au levier, demeurent paralléles l'une à l'autre comme *a p*, *b r*.

3°. Si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, de ſorte que l'une des deux faſſe avec le bras du levier, un angle plus ou moins grand que l'autre; celle des deux qui s'écartera davantage de l'angle droit, toutes choſes égales d'ailleurs, rendra la puiſſance plus foible. Une force qui ne ſeroit donc que ſuffiſante pour ſoutenir la maſſe Q, en agiſſant ſelon la direction *P p*, *Fig.* 14. ne le ſeroit plus ſi elle ſortoit de cette ligne; & elle le ſeroit d'autant moins, qu'elle

s'éloigneroit davanrage en ſe plaçant aux points *c*, *d*, *e*, *f*. Trois expériences rendront ces propoſitions évidentes.

IX. LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 15. repréſente une planche bien unie, & élevée verticalement ſur une baſe ; en *F*, on a fixé une châſſe aſſez ſemblable à celle d'une balance, pour ſervir de ſoutien à un levier *GH*, qui s'y meut librement ſur deux pivots ; *IK*, eſt une regle qui gliſſe dans une couliſſe, & qui porte en ſon extrémité une poulie qui eſt très-mobile. On fait paſſer ſur cette poulie un cordon fort menu qui tient d'une part à l'extrémité *H* du levier, & qui eſt garni par l'autre bout d'un petit crochet qui ſert à ſuſpendre un poids. Par le moyen de la poulie & de la regle mobile ſur laquelle elle eſt fixée, on peut varier comme l'on veut la direction du cordon, & par conſéquent celle de la puiſſance qu'on y attache.

On met d'abord en équilibre deux

IX. LEÇON.

poids dans des directions perpendiculaires aux bras du levier; & ensuite en faisant passer le cordon sur la poulie, on rend oblique la direction de l'un des deux poids comme *a P*, ou *a D*, *Fig.* 16.

EFFETS.

Lorsque la direction du cordon n'est plus perpendiculaire au levier, l'effort de la puissance *P*, ne suffit plus pour soutenir le poids de l'autre part, & l'équilibre ne se rétablit point jusqu'à ce que le cordon revienne dans la direction *a C*.

EXPLICATIONS.

Le poids étant en *C*, fait équilibre à la résistance *E*, parce qu'il agit directement contr'elle; car sa direction *a C*, étant paralléle à *b E*, c'est comme si ces deux forces étoient toutes deux opposées dans la même ligne. Ce levier du premier genre dont les bras sont égaux, ne fait rien autre chose que de mettre les deux forces en opposition : si l'une des deux *E*, tendoit naturellement de bas en-haut, on pourroit la placer en *a*, & l'é-

quilibre subsisteroit de même entr'elles, pourvû que leurs directions restassent directement contraires. Cette opposition directe est donc une condition absolument nécessaire : par conséquent, lorsque l'une des deux forces a sa direction perpendiculaire à l'un des bras du levier, toutes choses égales d'ailleurs, il faut que l'autre, pour lui être égale, fasse aussi un angle droit avec l'autre bras ; & si elle s'écarte de cette direction d'un côté ou de l'autre, son effort doit être moins grand. Supposons, par exemple, que la puissance agisse selon la ligne *a d*; il est évident que la résistance *E*, ne seroit nullement soutenue : elle le sera donc d'autant moins, que la direction de la puissance sera plus inclinée au bras du levier par lequel elle agit, ou qu'elle s'écartera davantage de la ligne *a C*, perpendiculaire à ce même levier.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre le levier *G H*, de la machine représentée par la *Fig.* 15.

IX. LEÇON.

dans une poſition oblique comme *h i*, & ſuſpendre aux extrémités deux poids égaux.

EFFETS.

La direction de la puiſſance & de la réſiſtance, étant celle qui eſt naturelle à tous les corps graves, eſt la même de part & d'autre; elle forme avec le levier incliné, des angles ſemblables, *l i F*, *h F k*; cette égalité d'angles ſubſiſte, quelque degré d'inclinaiſon qu'on faſſe prendre au levier, & les deux poids conſervent toujours leur équilibre.

EXPLICATIONS.

Lorſque le levier étoit horizontal comme *G H* *, la diſtance perpendiculaire à la direction des puiſſances, étoit la même que la longueur des bras *E G*, *F H*, qui étoit égale de part & d'autre; le levier s'étant incliné comme *h i*, cette diſtance à la direction perpendiculaire de chaque poids, a diminué des quantités *l H*, *k G*; mais ces quantités ſont égales entr'elles, par conſéquent les reſtans *l F*, *k F*, conſervent entr'eux le mê-

* Fig 15.

me rapport qu'auparavant ; c'eſt pourquoi l'inclinaiſon du levier n'a rien changé à l'équilibre des deux poids.

IX. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPAPATION.

Par le moyen de la machine * qui a ſervi dans les deux expériences précédentes, on met en équilibre deux poids égaux aux bras d'un levier horizontal ; enſuite on fait paſſer le cordon qui ſuſpend l'un des deux poids ſur la poulie *K*, que l'on fait avancer plus ou moins, pour donner à ce poids ſucceſſivement les directions, *a d*, *af*, *Fig.* 17.

* *Fig.* 15.

EFFETS.

Plus la direction de la puiſſance devient inclinée au levier, plus il faut ajouter à ſa maſſe pour la maintenir en équilibre avec celle de l'autre part : c'eſt-à-dire, que ſi elle étoit d'une livre lorſqu'elle étoit dans une direction perpendiculaire au levier, il en faut une & demie quand la direction eſt *a d*, & trois quand elle eſt *a f*.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Puiſque l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſqu'elle agit ſelon la direction *a P*, perpendiculaire au levier , comme nous l'avons prouvé par la troiſiéme expérience ; c'eſt une conſéquence néceſſaire qu'elle ait moins de force , lorſqu'on l'employe dans toute autre direction : & comme elle n'avoit qu'une force égale à la réſiſtance , étant dans la poſition la plus avantageuſe ; elle doit être inſuffiſante , lorſqu'elle reçoit les directions obliques *a d* , *a f*, c'eſt pourquoi l'on ne peut alors entretenir l'équilibre qu'en compenſant par une augmentation de maſſe dans la puiſſance , ce qu'elle perd par l'obliquité de ſa direction.

Pour juger de cette diminution qu'il faut compenſer , ou pour connoître de combien la puiſſance s'affoiblit par les différens degrés d'obliquité qu'on fait prendre à ſa direction , prolongeons ces directions par des lignes indéfinies *a i* , *à k*. Imaginons enſuite que le bras du levier *a c* , tourne ſur ſon point d'appui , & qu'il décrit

IX. LEÇON.

décrit une portion de cercle, *a g h i k*; il y aura un point dans ſa longueur *m* ou *n*, ſur lequel la direction prolongée tombera perpendiculairement ; c'eſt donc ſur ce point que la puiſſance exerce toute ſa force ; mais ce point, comme l'on voit, n'eſt plus à l'extrémité du bras du levier; ſa diſtance au point d'appui eſt beaucoup moindre ; en un mot, quand la direction de la puiſſance eſt oblique comme *a d*, c'eſt comme ſi elle étoit perpendiculaire au point *b*; & lorſqu'elle agit par la ligne *a f*, elle n'a que la force qu'elle auroit, ſi elle étoit ſuſpendue au point *e* : or ces deux points *e*, *b* partagent ce bras du levier en trois parties égales, & puiſque l'autre bras eſt de même longueur, il a trois parties ſemblables à celles-ci. La maſſe *R*, étant d'une livre multipliée par trois de diſtance au point d'appui, donne 3, qui eſt la valeur de la réſiſtance; ſi nous ſuſpendons une autre maſſe en *b*, pour ſervir de puiſſance, il faut qu'elle ſoit d'une livre & demie, qui multipliée par deux de diſtance, égalera le produit de l'autre part : & ſi nous la pla-

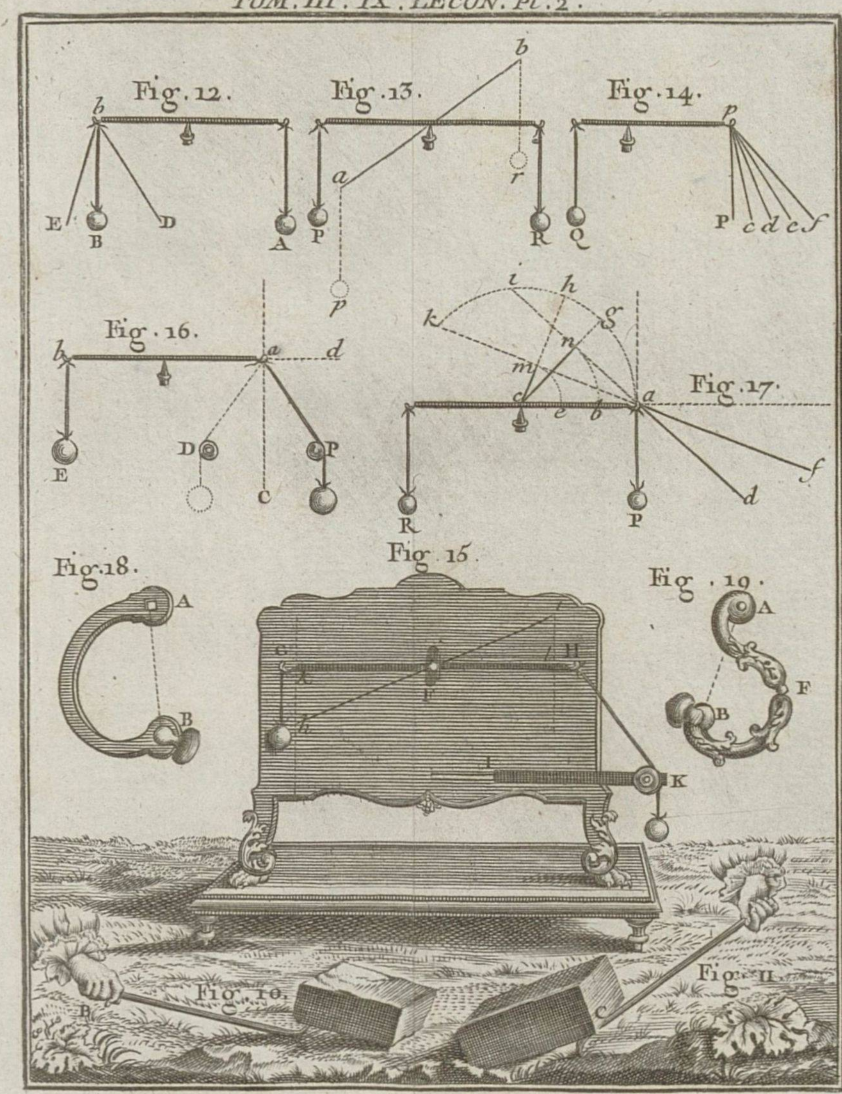
IX. LEÇON.

çons en *e*, la distance au point d'appui n'étant plus que 1, il faut nécessairement 3 de masse pour faire équilibre.

Ces masses 1 livre $\frac{1}{2}$ & 3 liv. sont, comme l'on voit, en raison réciproque des distances *b c*, *e c*, que l'on met entr'elles & le point d'appui; elles ont aussi le même rapport avec les lignes *c m*, & *c n*, qui sont doubles l'une de l'autre; & comme celles-ci, sont les sinus des angles *a c m*, *a c n*, on peut comprendre d'une maniere plus générale tout ce que nous venons d'expliquer, par cette proposition : *les différens efforts d'une puissance appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon différentes directions, sont entr'eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le levier.*

Il suit aussi de cette proposition, que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être quand la direction est perpendiculaire au levier, comme nous l'avons déja prouvé * : car alors, elle fait un angle droit *Pac*, dont le sinus est *a c*; c'est-à-dire, le rayon même ou le bras entier du levier.

* *III. Exp.* p. 35.


Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 16.
Fig. 17.
Fig. 15
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 10.
Fig. 11.

APPPLICATIONS.

Il y a quantité de machines & d'inſtrumens, qu'on fait mouvoir par le moyen d'un bras de levier, qu'on nomme *manivelle*.

Quelque figure qu'on lui donne, ſoit qu'on la courbe comme celle du gagne-petit, *Fig.* 18. & la plûpart de celles des rouets qu'on fait tourner avec le pied, ſoit qu'on la façonne en *S*, *Fig.* 19. comme le ſont ordinairement celles des vielles; elle ſe réduit toujours à un bras de levier droit, dont la longueur eſt déterminée par la diſtance qu'il y a entre le manche *B* & l'œil *A*, qui reçoit le bout de l'arbre tournant.

Dans les cas où la réſiſtance n'eſt pas bien conſidérable, il importe peu quel angle faſſe la direction de la puiſſance avec la ligne *AB*; mais lorſqu'il faut mener de grandes manivelles, avec beaucoup de force, on s'apperçoit bientôt que l'effort avec lequel on agit, n'a pas un avantage égal dans tous les points de la révolution. Cette inégalité vient des différentes manieres dont la puiſſance

IX. LEÇON.

ſe trouve dirigée au bras du levier pendant qu'il tourne : c'eſt ce que l'on concevra facilement, ſi l'on imagine que la manivelle *CH*, *Fig.* 20. reçoit ſon mouvement circulaire d'une régle *DH*, qui lui eſt jointe, & qui la pouſſe & la tire alternativement. Car ſelon ce que nous avons prouvé par la troiſiéme expérience, cette régle agit avec tout l'avantage qu'elle peut avoir, lorſqu'elle fait avec la manivelle un angle droit comme *CHD*, ou *Cik*, ſoit en pouſſant, ſoit en tirant. Mais lorſque la manivelle eſt aux points *b*, ou *e*, on voit que la direction de la puiſſance, repréſentée par la régle, fait avec elle des angles de plus en plut aigus, & que cette obliquité diminue beaucoup de l'effort.

Ce que nous diſons de la régle *DH*, il le faudroit dire du bras d'un homme, appliqué à une manivelle, s'il ne faiſoit que tirer & pouſſer dans la même direction : mais il fait plus ; lorſque ſon effort s'affoiblit par une direction déſavantageuſe en pouſſant, il avance ſon corps, de ſorte qu'une partie de ſon poids ſe porte

dans la direction *bf*, ou *eg*; lorſqu'il tire, il ſe baiſſe & ſe renverſe un peu; & par ces différens moyens, il redreſſe, pour ainſi dire, la direction de la puiſſance, & l'angle qu'elle fait avec la manivelle demeure plus ouvert qu'il ne le feroit, ſans ces mouvemens du corps, qui ſe font ſans attention, & par des ouvriers les plus groſſiers, qui n'ont pris ſur cela que les leçons de la Nature & de l'habitude.

Mais ces ſortes de mouvemens ne ſe font pas ſans fatigue; il eſt toujours vrai de dire, que celui qui tourne la manivelle, n'eſt en pleine force que dans certaines parties de la révolution : c'eſt peut-être pour cette raiſon que dans les machines qui ſe meuvent avec deux manivelles, on eſt dans l'uſage d'oppoſer la longueur de l'une à celle de l'autre, comme *EF*, & *GH*, *Fig.* 21. afin que des deux hommes qui les menent, l'un ſe trouve dans une poſition favorable, pendant que l'autre travaille avec déſavantage : mais cette diſpoſition ne me paroît pas la meilleure qu'elle puiſſe être : j'aimerois mieux que les deux manivelles fiſſent en-

IX. LEÇON.

ſemble un angle droit, que d'être oppoſées directement. Car ſi l'on partage la révolution entiere en quatre quarts, on peut voir par la *Figure* 20. qu'un homme qui éléve la manivelle d'*I* en *m* par l'action des muſcles, ou qui l'abaiſſe de *b* en *n* par l'effort de ſon poids, a beaucoup plus de force que quand il la porte en avant d'*m* en *b*, ou qu'il la tire à lui d'*n* en *l* : mais ces deux dernieres parties comme les premieres, ſont directement oppoſées entr'elles ; quand on oppoſe de même les deux manivelles, ceux qui les font agir, ſe trouvent donc en même tems en pleine force, & en même tems auſſi dans les poſitions les moins favorables : la même choſe n'arriveroit pas, ſi les manivelles faiſoient entr'elles un angle droit, l'un des deux parcouroit l'arc *l m*, pendant que l'autre paſſeroit par l'eſpace *m b*.

Pour changer la direction du mouvement, il arrive ſouvent, qu'au lieu d'employer un levier droit, on diſpoſe les deux bras de maniere qu'ils font un angle au point d'appui, comme *IKL*, *Fig.* 22. Ces leviers angulai-

res, qu'on nomme auſſi *manivelles coudées*, ſont fort en uſage pour les pompes, pour les mouvemens des ſonnettes qu'on place dans les appartemens, pour la ſonnerie des horloges & des pendules, & dans une infinité d'autres occaſions où l'action du moteur ne peut ſe tranſmettre que par des voies indirectes. Ils ont les mêmes propriétés qu'un levier droit; car lorſqu'en tournant, ces deux bras diſpoſés en équerre ſe trouvent obliques aux directions *m l*, *i n*, de la puiſſance & de la réſiſtance, cette obliquité eſt égale de part & d'autre; *o K l*, *i K h*, ſont ſemblables; en un mot, les diſtances du point d'appui *K*, aux directions perpendiculaires, *m o*, *i h*, ſont entr'elles dans les mêmes rapports que *L K*, & *I K*.

Ce que nous avons nommé juſqu'ici, le point d'appui, doit être conſidéré comme une troiſiéme puiſſance qui fait équilibre à la force motrice ou à la réſiſtance, ou qui concourt avec l'une des deux pour porter l'effort de l'autre: dans les leviers du premier genre, par exemple, le point d'appui ſoutient l'effort

IX. LEÇON.

des deux forces qui ſont oppoſées de part & d'autre; dans ceux du ſecond & du troiſieme genre, il ne porte qu'une partie de l'une des deux.

Ce n'eſt pas toujours un point fixe & inébranlable qui ſert d'appui; le plus ſouvent ce ſont des corps fléxibles ou qui peuvent s'écraſer, ou bien des corps animés, dont la réſiſtance n'eſt point à l'épreuve de tout effort. Lorſqu'une poutre, par exemple, repoſe par ſes extrémités ſur les deux murs d'un bâtiment, ſon propre poids ou celui dont elle eſt chargée, les feroit s'écrouler s'ils n'étoient bâtis aſſez ſolidement. Les mulets qui portent des brancarts ſuccombent ſous la charge quand elle excéde leurs forces. Il eſt donc important de ſçavoir de combien eſt chargé le point d'appui, ou ce qui en fait l'office, lorſque deux autres forces agiſſent l'une contre l'autre ſur le même levier, afin de le pouvoir mettre en proportion avec l'effort qu'il doit ſoutenir : & comme ce point d'appui pourroit bien être de nature à ne pas réſiſter également dans toutes ſortes de directions, il faut examiner

miner aussi comment se dirige l'effort qu'il soutient par les différentes directions qu'on peut donner à la puissance & à la résistance. Nous avons fait voir précédemment, que l'action d'une puissance quelconque appliquée au bras d'un levier, résulte de deux choses : 1°. De sa masse, ou du poids auquel elle équivaut, si c'est un ressort, l'effort d'un animal, ou toute autre force qui n'agit point en vertu de la pesanteur : 2°. De sa distance au point d'appui ; & nous avons fait connoître d'où il faut compter cette distance. * L'effort qui vient de la masse & qu'on peut nommer *absolu*, est limité ; une livre, ou l'action d'une puissance équivalente à une livre, lorsqu'elle pése sur le bras d'un levier, dans la direction la plus avantageuse, ne peut que faire équilibre à un pareil poids qui lui est opposé avec les mêmes circonstances. Mais l'effort qui vient de la distance au point d'appui peut croître à l'infini ; de sorte que si l'un des deux bras étoit 100 fois aussi long que l'autre, une livre deviendroit équivalente à 100. Quelle sera donc

IX. LEÇON.

* V. Exp. Fig. 17.

IX. LEÇON.
la charge ſur le point d'appui, premiérement, s'il y a équilibre avec égalité de maſſe ; ſecondement, ſi les maſſes ou les forces ſont en équilibre par l'inégalité de leurs diſtances au point d'appui ?

Pour répondre à la première queſtion, je dis que ſi les directions de la puiſſance & de la réſiſtance ſont paralléles entr'elles, le point d'appui ſe trouve chargé de la ſomme des deux forces abſolues, & ſon effort ſe fait dans une direction parallélle à celles de la puiſſance & de la réſiſtance.

Mais ſi les directions des deux forces oppoſées ſont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort abſolu ; il en porte d'autant moins qu'elles ſont plus inclinées au levier ; & ſa réſiſtance tend au point de concours de ces deux directions : deux expériences ſerviront d'éclairciſſemens & de preuves.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au revers de la machine qui eſt re-

présentée par la *Figure* 15. on a fixé, à deux pouces de diſtance du plan, les poulies *A* & *B*, *Fig.* 23. qui ſont très-mobiles ſur leurs axes; & par le moyen deſquelles on ſuſpend horizontalement un levier d'acier *D E*, que l'on tient en équilibre avec les deux petits poids *p*, *r*; on ſuſpend enſuite au poids *C* un poids de 4 onces, & aux bouts des cordons deux autres poids, *P*, *R*, qui péſent chacun 2 onces.

EFFETS.

Tout étant ainſi diſpoſé, le poids qui eſt en *C* tient les deux autres *P*, *R*, en équilibre; ſi l'on ôte les deux petits, *p*, *r*, le poids de 4 onces deſcend par la ligne *C I*; il remonte au contraire par la ligne *C F*, ſi l'on ajoute également aux maſſes *P*, *R*.

VII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Cette expérience ſe prépare comme la précédente, excepté que le levier *I K*, *Fig.* 24. eſt plus court que *D E*, *Fig.* 23, & que le poids *L* n'eſt que de 3 onces.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Les deux directions *K N*, *I Q*, des deux puissances *P*, *R*, étant obliques au levier, à quelque dégré d'obliquité que ce soit, le poids *L* est toujours moindre que 4 onces pour faire équilibre aux deux autres qui pesent chacun deux onces : si les directions *K N*, *I Q*, deviennent moins obliques au levier, comme *N O*, *Q S*, il faut augmenter la masse *L* pour conserver l'équilibre ; & quand ce poids descend ou remonte, c'est toujours par la ligne *L M*.

EXPLICATIONS.

Dans ces deux dernieres expériences, on peut regarder le poids *P* comme la puissance, *R* comme la résistance, & la masse qui est suspendue au point *C*, ou *L*, comme la valeur de l'effort qui se fait au point d'appui lorsque tout est en équilibre ; car il est évident que sans ce dernier poids, le levier seroit emporté de bas en haut par les deux autres puissances. Or il faut 4 onces au point *C*, quand les deux masses *P*, *R*, sont chacune

de deux onces, & que leurs actions sont toutes deux dans des directions perpendiculaires au levier, comme *AD*, *BE* *; nous avons donc eu raison de dire, qu'en pareil cas le point d'appui est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance; & puisque le poids qui représente l'effort du point d'appui se meut dans la ligne *IF*, quand il devient plus fort ou plus foible; c'est une marque qu'il agit suivant cette direction, qui est, comme nous l'avons annoncé, parallèle à celles de la puissance & de la résistance.

IX. Leçon.

* Fig. 23.

Dans l'autre expérience, on voit encore la preuve de ce que nous avons avancé; le poids qui suffit pour arrêter le point *L* du levier contre les efforts qui se font en *I* & en *K*, n'est jamais de 4 onces; comme il faut qu'il le soit, quand les directions des puissances sont perpendiculaires au levier; ce qui prouve bien que le point d'appui n'est plus chargé de la somme entiere des deux masses *P*, *R*; & cela doit être ainsi, puisque, comme nous l'avons prouvé & expliqué, l'action d'une puissance est d'autant

IX. LEÇON.

diminuée, que ſa direction eſt oblique au bras du levier par lequel elle agit: enfin l'effort du point d'appui ſe dirige au point *M*, parce que c'eſt là que ſe réuniſſent, par leurs tendances, les deux forces auſquelles il réſiſte.

Quant à la ſeconde queſtion, ſçavoir quel eſt l'effort qui ſe fait ſur le point d'appui lorſque la puiſſance & la réſiſtance ſe mettent en équilibre par des diſtances inégales entr'elles & le point d'appui: je réponds que cet effort n'eſt jamais plus grand que la ſomme des forces abſolues ou des maſſes qui ſont oppoſées; c'eſt-à-dire, que ſi le poids d'une livre en ſoutient un de 12, parce qu'il agit par un bras de levier qui eſt douze fois plus long que celui de l'autre part, le point d'appui ne peut jamais être chargé que de 13 livres, & non pas de 24; & ſon effort ſe dirige comme dans les cas précédens, parallélement aux directions des forces qu'il ſoutient, ſi ces directions ſont paralléles entr'elles, ou bien directement au point de leur concours, ſi elles ſont inclinées l'une à l'autre.

VIII. EXPERIENCE

Preparation.

Sur une même baſe *A B*, *Fig.* 25. on a élevé deux piliers qui gliſſent dans deux mortaiſes, de maniere qu'ils peuvent s'approcher & s'écarter l'un de l'autre; *C*, *C*, ſont deux poulies, ſur chacune deſquelles paſſe un petit cordon pour ſoutenir une petite tringle d'acier *E E*, par le moyen des deux petits poids *D*, *D*; la piéce *FG*, eſt une verge de fer qui eſt un péu entaillée en-deſſous aux $\frac{3}{4}$ de ſa longueur, & qui, par le moyen d'un poids que l'on attache en *F*, ſe met en équilibre avec elle-même, & avec les petits poids *D*, *D*, que l'on augmente autant qu'il le faut pour cet effet.

On ſuſpend d'abord en *F*, un poids de 6 onces; en G, un autre poids de 2 onces; & l'on ajoute anx petits contre-poids qui ſont en *D*, *D*, deux maſſes de 4 onces chacune. Voyez la *Fig.* 26, où l'on a repréſenté, par des lettres de mêmes noms, celles de ces quantités ſeulement qui intéreſſent la théorie.

Effets.

IX. Leçon.

Il y a équilibre par-tout : 1°. Entre les deux masses inégales qui sont appliquées au levier *fg* ; 2°. Entre ce levier qui est ainsi chargé, & les deux poids *d*, *d*, qui soutiennent le point d'appui *e e*, ou plutôt, qui représentent son effort ; & si l'on souleve un peu ces deux derniers poids, aussitôt le point d'appui descend par la ligne *e K*.

IX. EXPERIENCE.

Preparation.

Il faut écarter l'un de l'autre les deux piliers *A*, *B*, de la machine que nous avons décrite *, ensorte que la direction du cordon de chaque côté devienne oblique au levier, comme *ce*, *c e*, *Fig.* 27 ; ensuite la verge *fg*, ayant été avancée jusques aux deux tiers de la longueur de la tringle d'acier *e e*, on met en *L* & en *M* des masses telles qu'il les faut pour tenir le tout en équilibre.

* *Fig.* 25.

Effets.

Alors le poids *L* se trouve être de

8 onces, & celuiqui eſt en *M*, de 4 onces, ce qui fait en ſomme 12 onces de maſſe; & lorſqu'on diminue cette quantité, ou qu'on ſouleve ces deux poids, le point d'appui *H* deſcend en ſuivant la ligne *HI*, ce qui s'apperçoit facilement, ſi l'on place derriere un fil à plomb. La même choſe arrive, ſi l'on met en *H* un poids de 8 onces au lieu du levier *f g* chargé de ſes deux poids.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Dans la huitiéme expérience, il y a équilibre entre une maſſe de 6 onces & une autre de 2 onces; parce que celle-ci qui n'eſt que le tiers de l'autre eſt trois fois autant éloignée qu'elle du point d'appui; & nous avons fait voir qu'en pareil cas l'excès de vîteſſe d'une part, compenſe l'excès de la maſſe de l'autre part : mais quoiqu'une puiſſance augmente à meſure que le bras du levier devient plus long, il ne paroît pas que cet accroiſſement charge aucunement le point d'appui, puiſque l'effort qui ſe fait en g *, quoiqu'équivalent au poids de

* Fig. 26.

IX. LEÇON.

6 onces qui pése en *f*, ne produit point en *e* la somme de 12, mais seulement celle de 8, exprimée par les deux poids *d*, *d*, de 4 onces chacun, & égale aux deux masses qui sont en équilibre aux bras du levier *fg*. La même chose se prouve encore plus directement par la neuviéme expérience, puispu'en substituant en *H* * un seul poids qui égale en masse celle du levier chargé, les mêmes effets subsistent.

* Fig. 27.

Si rien ne soutenoit le levier, * que les deux puissances restassent en équilibre entr'elles, & perpendiculaires aux extrémités *f* & *g* : il est évident que tous les points compris entre ces deux derniers, tomberoient par des lignes paralléles à celles des puissances; & c'est ce que l'on voit arriver lorsqu'on souleve un peu les deux poids *d*, *d* : le point d'appui descend par la ligne *e K*; cette ligne exprime donc sa tendance de bas-en-haut, ou la direction de son effort.

* Fig. 26.

On peut dire aussi que si ces puissances cédoient de part & d'autre à l'effort qui se fait au point *H*, * pourvû qu'en cédant elles ne changeassent

* Fig. 27.

point de rapport, les deux extrémités du levier décriroient en descendant, les paralléles *e N*, *e O*, & le point d'appui se trouveroit toujours dans la ligne *H I*; son effort se fait donc dans cette ligne où les directions des puissances se joignent lorsqu'elles sont inclinées entr'elles.

IX. LEÇON.

APPLICATIONS.

Puisque l'on peut sçavoir combien il se fait d'effort sur un appui, ou sur tout ce qui en fait l'office, lorsque l'on connoît la valeur absolue des puissances & leurs directions à l'égard du levier, par lequel elles agissent; on peut donc prévenir les accidens qui pourroient naître des disproportions, ou mettre à profit des forces qu'on regarderoit comme insuffisantes si l'on ne sçavoit pas les appliquer avec tout l'avantage qu'elles peuvent avoir.

Que l'on place par exemple, une charge de 200 livres au milieu d'un levier dont les extrémités reposent sur les épaules de deux hommes; ces deux appuis suffiront au fardeau, si chacun des porteurs est capable de

IX. LEÇON.

ſoutenir 100 livres. Mais ſi l'un des deux n'en peut porter que 50, quand bien même l'autre pourroit ſuffire à un effort de 150 livres, le plus foible ne ſuccombera pas moins, tant que le fardeau ſera à égales diſtances entre ſon collégue & lui ; & tous deux deviendront inutiles pour l'ouvrage qu'on en attendoit. Mais que l'on place la charge plus loin du porteur le plus foible, & que les bras du levier devenus inégaux, ſoient en raiſon réciproque des efforts dont les deux hommes ſont capables ; & alors le fardeau ſera ſoutenu, comme il auroit pû l'être d'abord par deux autres hommes qui auroient pû ſuffire chacun à un effort de 100 livres.

Qu'un Charpentier porte une ſolive, c'eſt toujours à peu-près par le milieu de la longueur qu'il la poſe ſur ſon épaule : en la plaçant ainſi, il ne porte que le poids de la piéce de bois, parce que les deux bouts qui paſſent de part & d'autre, ſe font équilibre réciproquement ; & le point d'appui n'eſt chargé que de la ſomme totale des deux maſſes. Mais s'il la poſoit aux deux tiers, ou aux trois

quarts de sa longueur, il seroit obligé, pour l'empêcher de tomber, de la retenir avec ses bras par le bout le plus court; & cet effort seroit équivalent à un poids qui feroit équilibre avec l'excès de longueur que la solive auroit du côté opposé : l'épaule du porteur seroit donc inutilement chargée de cette quantité de plus.

Ces deux exemples que je viens de citer sont si simples, & se rencontrent si fréquemment, que la plupart de ceux qui nous donnent lieu de les remarquer, suppléent au raisonnement par l'habitude & par le seul instinct de la nature. Mais il y a une infinité de cas où l'on a besoin d'être instruit & de réfléchir, & où l'on ne réussit que par une application raisonnée de ces mêmes principes dont nous avons naturellement une idée confuse.

Ce n'est aussi qu'en réfléchissant sur ces loix de la nature, qu'on peut se rendre compte d'un nombre infini de précautions & d'usages que nous adoptons dès l'enfance, ou que nos besoins & la seule industrie ont fait naître.

IX. Leçon.

Pourquoi, par exemple, un homme qui tire un bateau ou quelque fardeau attaché au bout d'une corde, ſe penche-t-il en avant ? c'eſt qu'il appuie l'action des muſcles ſur une partie du poids de ſon corps pour vaincre la réſiſtance contre laquelle il agit. Mais s'il manque de point fixe, ſi celui qu'il a ne l'eſt point aſſez, ſoit par ſa nature, ſoit par une direction déſavantageuſe ; s'il marche ſur un plan mobile, tel qu'un bateau qui n'eſt point arrêté; s'il eſt ſur un terrein gliſſant ou incliné ; toutes ces cauſes, qui ſe réduiſent à un défaut d'appui, rendent ſes efforts inutiles, ou en diminuent les effets.

C'eſt pour prévenir des inconvéniens de cette eſpéce, que l'on jette de la cendre ou du fumier, ſur les endroits fréquentés qui ſont couverts de verglas, & que dans les grands hyvers on met des pointes aux fers des chevaux, ce que l'on nomme, *ferrer à glace.* Sans cette pointe ou talon que l'on pratique aux patins pour piquer la glace, où pourroit-on prendre ſon point d'appui pour s'élancer ſur un plan dont l'avantage le plus

considérable eſt de n'avoir aucune inégalité qui puiſſe arrêter le pied ? Les peuples du Nord qui ſont obligés le plus ſouvent de voyager ſur la neige, marcheroient ſur un appui qui ne ſeroit point aſſez fixe, s'ils ne prenoient la précaution de ſe mettre aux pieds des eſpéces de raquettes, beaucoup plus larges que la ſemelle de nos ſouliers, par ce moyen ils s'appuyent en marchant ſur une plus grande partie du plan, ce qui ſupplée à ſon défaut de ſolidité.

Quand des chevaux tirent une voiture en montant, ce qui les fatigue, n'eſt pas ſeulement le poids de la charge qui eſt alors moins ſoutenue par le terrein, c'eſt encore l'inclinaiſon de ce terrein qui leur préſente le point d'appui dans une direction fort oblique à celle de leur effort, car leurs jambes. en ſe roidiſſant contre le terrein, s'inclinent dans le même ſens que lui; & l'on conçoit bien que plus elles s'approchent du paralléliſme, moins les pieds ſont appuyés : c'eſt pourquoi l'on pratique ſouvent dans ces ſortes de chemins certaines inégalités qui facilitent le tirage; ſem-

IX. LEÇON.

blables à peu-près aux marches de nos escaliers, qui présentant un plan horizontal à l'effort du pied qui se fait dans une direction presque verticale, résistent beaucoup mieux que ne pourroient faire des portions du plan incliné sur lesquelles elles sont établies.

Ceux qui sont dans l'usage de tourner doivent sçavoir combien il est nécessaire qu'un levier soit bien appuyé, pour soutenir les efforts opposés de la puissance & de la résistance : car qu'est-ce qu'un ciseau, une gouge, un burin, sinon un levier du premier genre appuyé sur un support, & dont la main du tourneur porte le tranchant ou la pointe contre un morceau de bois, de cuivre, de fer, &c. ? Si le support n'est pas bien ferme par lui-même, s'il n'est pas proportionné aux efforts qu'il doit soutenir, si sa position, ou celle de l'outil qu'il soutient, donne à sa résistance une direction désavantageuse, il en résulte, comme l'on sçait, beaucoup de mauvais effets ; les matieres dures se tournent par ondes, (ce qu'on appelle, *guillocher*,) celles qui sont tendres

s'arrondissent

s'arrondiſſent imparfaitement, l'outil s'engage, & fait de faux traits ; en un mot, c'eſt un défaut eſſentiel dans un tour, lorſque ce qui doit ſervir d'appui aux outils, manque ou de ſolidité ou de mouvemens néceſſaires pour lui donner les directions les plus convenables ; & celui qui ne ſçait pas placer le ſupport avantageuſement, n'eſt point un habile tourneur.

IX. LEÇON.

DES MACHINES.

Qui ſont compoſées de Leviers, ou qui agiſſent comme des Leviers.

Les leviers entrent dans la conſtruction d'un ſi grand nombre de machines, qu'il ne ſeroit pas poſſible de les y faire remarquer par un détail exact. Les Auteurs qui ont traité le plus amplement de la méchanique, ſe ſont diſpenſés avec raiſon, de cet examen ſuperflu, & ſe ſont contentés, après avoir établi les principes, d'indiquer par quelques exemples choiſis, l'application qu'on en fait dans les arts : les bornes que nous nous ſommes preſcrites, exigent que nous en uſions avec encore plus de

IX. LEÇON.

réserve ; c'est pourquoi nous ne parlerons ici que des machines les moins composées, de celles qui s'éloignent si peu de la simplicité du levier, qu'on les compte quelquefois au nombre des machines simples.

De la Balance commune & de la Romaine.

La balance ordinaire représentée par la *Figure* 28. est une machine qui sert à mettre en équilibre deux quantités égales de matiere, de sorte que si l'on connoît le poids de l'une, on sçait, par ce moyen, combien pése l'autre.

Cette machine est composée d'un *fléau AB*, dont la longueur est partagée en deux parties égales par un *axe ;* de deux *bassins*, *C*, *D*, suspendus aux deux extrémités des bras du fléau, & d'une *chasse E F*, qui sert d'appui à l'axe, où est le centre du mouvement.

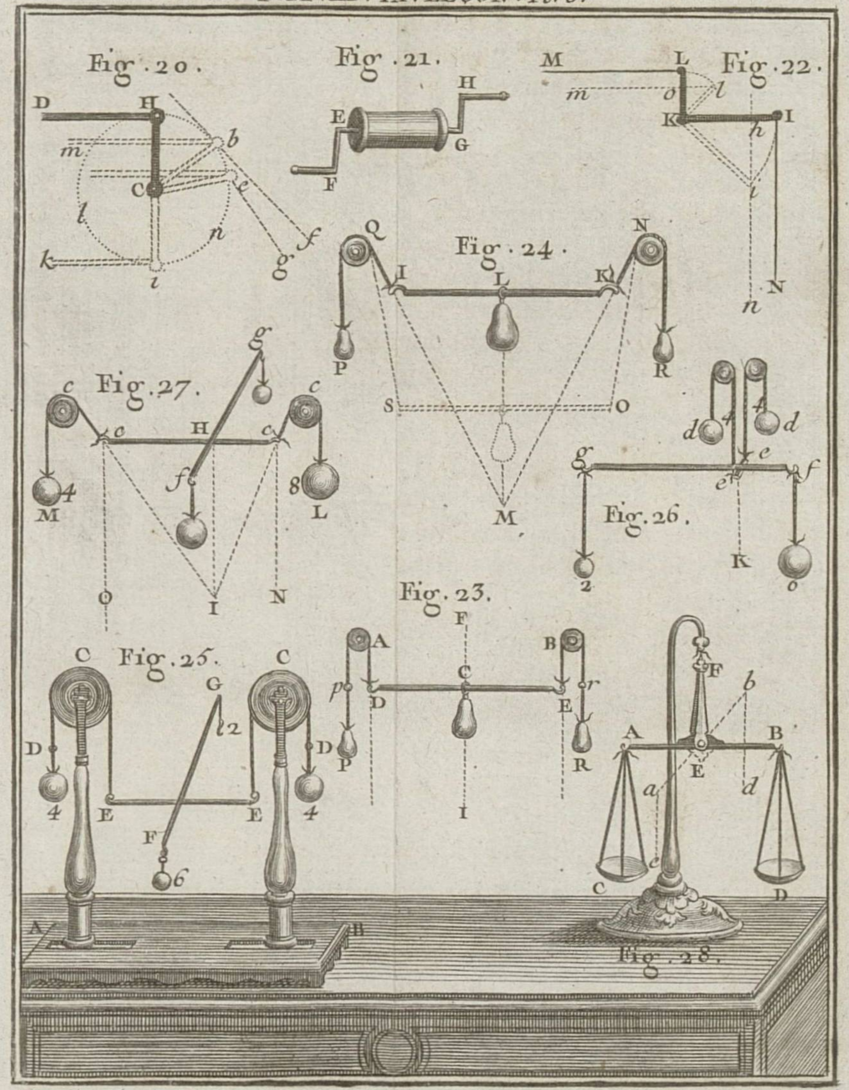
On reconnoît facilement que cette balance n'est autre chose qu'un levier partagé en deux bras égaux par son appui, & chargé des efforts d'une

puiſſance & d'une réſiſtance dont les directions ſont paralléles entr'elles, & perpendiculaires à ſa longueur, lorſqu'il eſt horizontal comme *A B*; ou faiſant avec elle des angles égaux de part & d'autre, lorſqu'elle eſt inclinée comme *a b*; de ſorte que s'il étoit poſſible de faire une balance d'une matiere infléxible & ſans peſanteur, nous aurions peu de choſes à ajouter à ce que nous avons dit & prouvé précédemment. Mais comme la néceſſité où l'on eſt de faire le fléau de quelque matiere dure telle que du fer ou du cuivre, & de lui donner une figure & des dimenſions qui l'empêchent de plier, fait quelquefois perdre de vûe ce que preſcrit la théorie; je crois qu'il eſt à propos d'examiner en peu de mots ce qui peut rendre une balance juſte ou défectueuſe.

Les qualités eſſentielles d'une balance ſont, 1°. d'être bien mobile, c'eſt-à-dire, que la plus petite différence entre les deux quantités de matiére dont elle eſt chargée faſſe trébucher le fléau, afin qu'on puiſſe regarder ſon état d'équilibre, comme

IX LEÇON. le ſigne certain d'une égalité parfaite dans les maſſes de part & d'autre : 2°. Que ſes bras ſoient toujours bien égaux ; car s'ils ne le ſont pas, ils meſureront des diſtances inégales du point d'appui aux points de ſuſpenſion où ſe font les efforts des puiſſances, & deux maſſes égales ne pourront point s'y mettre en équilibre : 3°. Que les bras ſoient dans une même direction ; car autrement il ſera difficile de juger s'ils font des angles égaux de part & d'autre avec les directions des puiſſances. Il n'eſt point facile de concilier enſemble ces trois points de perfection ; il ſe rencontre, dans la conſtruction de l'inſtrument, pluſieurs difficultés à vaincre ; & dans l'uſage même, une balance exige des attentions ſans leſquelles la plus exacte ceſſe de l'être.

La mobilité d'une balance dépend principalement de trois choſes ; ſçavoir, du plus ou moins de frottement qui ſe fait à l'axe ; car on ſçait que c'eſt un obſtacle au mouvement ; de la poſition du centre de peſanteur qui peut être placé hors du centre de mouvement ; & de la longueur des


Fig. 20.
Fig. 21.
Fig. 22.
Fig. 24.
Fig. 27.
Fig. 26.
Fig. 23.
Fig. 25.
Fig. 28.

bras, puiſqu'un très-petit poids peut faire un grand effort, étant fort éloigné du point d'appui.

Pour rendre la balance plus mobile par la diminution du frottement, il faut que la preſſion au point d'appui ſoit la moindre qu'il eſt poſſible: & c'eſt pourquoi l'on fait très-léger le fléau des balances d'eſſais, où l'on a beſoin d'une très-grande mobilité: mais il faut prendre garde auſſi qu'étant trop foible il ne plie ſous la charge des baſſins; car ſa courbure auroit d'autres inconvéniens dont nous ferons bien-tôt mention. C'eſt encore dans la vûe de diminuer le frottement de l'axe, qu'on le fait un peu en couteau: & cette pratique eſt bonne, pourvû cependant que l'endroit du trou ſur lequel il porte, ſoit comme lui très-dur; car autrement, ou il ſe creuſeroit avec le tems, ou il s'écraſeroit lui-même; & ſa mobilité, au lieu d'être augmentée, diminueroit conſidérablement.

Si le fléau de la balance eſt ſuſpendu par le centre de ſa peſanteur, ſes deux bras ſeront toujours en équilibre, dans quelque ſituation qu'on

IX. LEÇON.

les mette ; & pour peu que l'un des deux ſoit plus chargé que l'autre, la balance trébuchera : cette extrême mobilité devient incommode dans l'uſage ordinaire, parce qu'il faut beaucoup de tems & d'attention pour charger les baſſins avec une égalité auſſi parfaite qu'il le faudroit pour les tenir en équilibre ; c'eſt pourquoi l'on a coutume de placer le centre du mouvement au-deſſus de celui de la peſanteur. On peut voir, par la *Fig.* 29. avec quelle réſerve il faut uſer de ce correctif, qui n'eſt, à proprement parler, qu'une imperfection miſe à deſſein ; car ſi le triangle *A B C* repréſente un fléau de balance mobile ſur le point *C*, & qu'on lui faſſe prendre une ſituation inclinée comme *a b*, le centre de peſanteur qui eſt dans la ligne *C D*, quand les deux bras ſont dans un plan horizontal, ſe trouvera alors dans la ligne *C d*, & fera effort pour revenir dans la ligne verticale qu'il a quittée ; s'il eſt libre d'y revenir, l'accélération de ſa chûte le fera paſſer outre, il viendra en *f* ; & c'eſt ce qui cauſe ces balancemens qu'on remarque à tous les fléaux, & qui

n'auroient pas lieu ſi le centre de pe- ſanteur n'étoit plus bas que le centre de mouvement.

Puiſque de tels fléaux ne peuvent s'incliner ſans que le centre de peſanteur ſe déplace, & que ce déplacement ne peut ſe faire ſans un effort particulier, il eſt évident qne cette conſtruction ôte à la balance une partie de ſa mobilité, & qu'on ne doit éloigner le centre du mouvement que le moins qu'il eſt poſſible de celui de la peſanteur, ſur-tout lorſque cet inſtrument doit ſervir à peſer des marchandiſes précieuſes dont les moindres quantités intéreſſent.

La longueur des bras contribue auſſi à la mobilité de la balance, par la raiſon que nous avons dite: c'eſt un moyen qui pourroit par lui-même rendre ſenſible le poids des plus petites portions de matiere; mais un fléau de balance ne peut acquérir une plus grande longueur, qu'en devenant ou plus peſant ou plus flexible; l'un & l'autre ſont à craindre: le premier, parce qu'il augmente le frottement par une plus grande preſſion à l'axe: le ſecond, par des raiſons que nous allons rapporter.

IX. LEÇON.

La ſeconde condition que nous avons exigée pour faire une balance exacte, c'eſt que ſes deux bras ſoient parfaitement égaux ; or ce n'eſt point aſſez qu'ils le ſoient quand on conſtruit l'inſtrument, il faut de plus qu'ils ne ceſſent point de l'être dans l'uſage. Si le fléau n'a pas toute la roideur néceſſaire, il ſe courbe ſous la charge des baſſins ; & cette courbure, quelque petite qu'elle ſoit, diminue la mobilité, & jette de l'incertitude ſur les effets de la balance. Car premiérement, ſi la ligne droite *AB*, *Fig.* 30. devient courbe comme *a C h*, les courbures de part & d'autre ſe réduiſent aux deux lignes droites *a C*, *C b*, & forment, avec la ligne *a b*, un triangle auquel on peut appliquer ce qui a été dit de celui qui eſt repréſenté par la *Figure* 29. Secondement les directions des puiſſances *a f*, *b g*, ne font plus des angles droits avec les bras courbés du fléau. A la vérité, ceci n'eſt point un inconvénient, ſi ces angles, quoique différens de ce qu'ils étoient, ſont toujours ſemblables entr'eux ; & c'eſt pour s'en aſſurer qu'on éléve une aiguille à angles

gles droits ſur le milieu du fléau. Si la chaſſe eſt ſuſpendue librement, elle prend d'elle-même une direction verticale qui fait connoître quand l'aiguille eſt perpendiculaire au plan de l'horizon ; & alors on juge que les deux bras de la balance font des angles ſemblables, avec les directions des puiſſances dont ils ſont chargés ; mais cela ſuppoſe, comme l'on voit, ou que le fléau eſt demeuré droit, ou qu'il s'eſt courbé également de part & d'autre; car ſi la partie *C b* a plié davantage que celle de l'autre part, la ligne ſera plus courte que *a C*, & ſon inclinaiſon ne ſera pas la même.

Cette différence d'inclinaiſon qu'on doit appréhender, ſi le fléau eſt fléxible, & la difficulté d'en eſtimer le plus & le moins dans la pratique, ſont des raiſons ſur leſquelles j'établis la troiſiéme condition : ſi, par le choix de la matiere, par la façon de la travailler ; par une figure ou par des dimenſions bien ménagées, on conſtruit une balance de maniere que ſes bras ſoient inflexibles, ſans préjudicier aux autres qualités néceſſaires, ils ſeront toujours dans une même

IX. LEÇON.

direction, & leur équilibre dépendra uniquement de l'égalité des masses dont ils seront chargés : cela ne doit s'entendre cependant que du fléau seul, & lorsqu'il n'est pas chargé de ses bassins ; car les points de suspension changent de place quand le fléau s'incline, & par cette raison l'une des puissances s'approche, & l'autre s'éloigne du point d'appui, comme on le verra par la *Fig.* 31.

Soient *A B*, les deux trous où l'on attache les crochets ou anneaux qui suspendent les bassins : tant que le fléau est horizontal, les points de suspension sont en *a* & en *b*, à égales distances du centre du mouvement, mais s'il s'incline comme *D E*, les anneaux glissent, & l'un des deux se trouve en *d*, plus loin, & l'autre en *e*, plus près qu'il n'étoit du centre de mouvement. C'est par cette raison qu'un fléau seul fait beaucoup de balancemens, & qu'il en fait moins, quand il est chargé de ses bassins, sur-tout s'il s'incline considérablement, parce qu'alors il perd entiérement son équilibre.

On peut remarquer aussi que com-

me on fait ordinairement de grands trous pour donner plus de liberté aux anneaux, quoique leurs centres ſoient dans la même ligne que celui de l'axe, les deux bras du fléau, qui ſont, à proprement parler, les deux lignes *ac*, *bc*, ne ſont pas pour cela dans la même direction; & c'eſt une choſe à laquelle on doit avoir égard dans la conſtruction des balances, puiſque cela ſeul peut être cauſe que le centre de peſanteur ſe trouve hors du centre de mouvement (*a*).

L'aiguille que l'on place ſur le fléau pour connoître quand il eſt dans une direction horizontale, peſe en partie ſur l'un des deux bras, quand la balance s'incline, comme il paroît par la *Figure* 32; & par cette raiſon, toutes les fois qu'elle paſſe la ligne verticale d'un côté ou de l'autre, elle feroit cauſe d'erreur ſi l'on ne prévenoit cet inconvénient par un contre-

(*a*) Pour remédier à ces inconvéniens, les bons ouvriers pratiquent aujourd'hui, à chaque extrémité du fleau, une boucle diviſée en deux par une traverſe, dont le bord ſupérieur un peu concave eſt taillé en couteau, pour recevoir l'anneau ou l'*S* qui porte les cordons du baſſin. Voyez la figure 31*.

IX. LEÇON.

poids *h i*, que l'on ménage dans la partie opposée sous le fléau ; mais ce contrepoids n'empêche qu'une partie du mal, s'il n'est d'une pesanteur parfaitement égale à celle de l'aiguille, ce qui n'est point facile, quand le fléau *m n*, l'aiguille *k l*, & le contrepoids *h i*, sont d'une même piéce, comme cela se fait ordinairement.

La balance la mieux faite pourroit manquer d'exactitude par la maniere dont elle seroit mise en usage : elle pourroit, par exemple, n'être plus assez mobile, & même devenir fausse, par inégalité de longueur dans ses bras, si l'on ne proportionnoit pas à la force du fléau les masses dont on charge les bassins ; car alors une grande pression à l'axe y causeroit trop de frottement, & les bras pourroient se courber, ce qui seroit équivalent aux défauts qui naîtroient d'une mauvaise construction. On courroit risque aussi de prendre pour équilibre ce qui ne le seroit pas, si la chasse mal suspendue, ou gênée, ne prenoit pas une direction verticale ; car alors le fléau pourroit n'être pas horizontal sans qu'on s'en apperçût ; & l'on a pu

voir, par tout ce qui a été dit ci-dessus, que cette position est celle où il y a le moins à craindre d'équivoque : elle n'en est pourtant pas absolument exempte ; on peut faire une balance fausse à qui l'on conservera cette propriété d'être en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale : un des deux bras peut être plus court, mais aussi pesant que l'autre : tant que les bassins seront vuides, l'équilibre subsistera ; mais s'ils sont chargés de quantités égales de matiere, celui qui sera suspendu au plus long bras l'emportera sur l'autre ; car des poids égaux ne peuvent point être en équilibre qu'à des distances égales du point d'appui.

La balance Romaine, ou peson qu'on a représenté par la *Fig.* 33. est encore un levier du premier genre, qui différe de la balance ordinaire en ce qu'il met en équilibre deux puissances fort inégales entr'elles : un seul poids *P*, que l'on met à différentes distances de l'axe ou point d'appui *C*, sert à peser des quantités beaucoup plus grandes les unes que les autres, que l'on attache au crochet *R* ; par-

IX. LEÇON.

ce que le bras de levier *CH* étant gradué, & la puiſſance *P* étant connue, on ſçait combien la réſiſtance a plus de maſſe, par la différence qu'il y a dans les diſtances compriſes entre l'une & l'autre, & le point d'appui.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup à cet inſtrument, parce qu'on y peut appliquer preſque tout ce qui a été dit ci-deſſus touchant la balance ordinaire; on remarquera ſeulement que le peſon eſt d'un uſage commode, en ce que n'ayant beſoin que d'un ſeul poids qui n'eſt pas conſidérable, il eſt très portatif en petit; & quand on l'emploie en grand ſur des maſſes qui ſont très-peſantes, & qu'on ne peut pas diviſer, on eſt diſpenſé d'avoir un grand nombre de poids difficiles à raſſembler, & le point fixe en eſt beaucoup moins chargé; mais il faut obſerver auſſi que cet inſtrument ne peut pas ſervir à peſer exactement de petites quantités, parce qu'il n'eſt point aſſez mobile, ce qui vient principalement de ce qu'un de ſes bras eſt fort court.

DES POULIES.

IX. Leçon.

La poulie, *Fig.* 34. eſt un corps rond & ordinairement plat, mobile ſur ſon centre *C*, & dont la circonférence extérieure eſt creuſée *en gorge* pour recevoir une corde ou une chaîne à laquelle on applique d'une part la puiſſance *E*, *F* ou *G*, & de l'autre la réſiſtance *R*.

Il faut ou que la corde mene la poulie, ou que la poulie mene la corde, c'eſt pourquoi quand on a lieu de craindre que celle-ci ne gliſſe ſur l'autre, on creuſe la gorge en forme d'angle, ou bien on la garnit de pointes. *Fig.* 35.

Le corps de la poulie ſe meut pour l'ordinaire dans une chappe *CD*, qui ſoutient l'axe : on eſt dans l'uſage de fixer les deux bouts de l'axe dans la chappe, & de faire tourner la poulie deſſus, il vaudroit mieux fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout enſemble dans les trous de la chappe, parce que le mouvement ſe faiſant ſur moins de ſurface, il y auroit moins de frottemens; & quand bien même les trous de la chappe s'ag-

IX. LEÇON.

grandiroient avec le tems, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, la poulie n'en tourneroit pas moins rondement, ce qui ne se peut faire, quand le centre de la poulie est trop ouvert.

Les expériences que nous allons rapporter feront connoître, 1°. qu'une poulie peut être employée comme un levier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances, dont les forces absolues sont égales, demeurent toujours en équilibre, quelques directions quelles prennent : 2°. Que les puissances qu'on y applique, agissent, d'autant plus fortement que leur distance à l'axe est plus grande : 3°. Que l'axe est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance, & que son effort se fait dans une direction paralléle aux leurs, & qui tend à leur point de concours.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Figure* 36. représente une machine composée de deux piliers éle-

vés & fixés ſur une tablette plus longue que large ; l'un porte une poulie à jour, de métal, & l'autre un levier en équerre dont les bras ſont égaux, & qui tourne très-librement ſur ſon clou & dans le même plan que la poulie. IX. LEÇON.

On fait paſſer d'abord ſur la poulie un cordon aux bouts duquel on attache deux poids égaux *P*, *R*, qu'on laiſſe agir dans des directions parallèles & verticales comme *AP* & *BR*.

Enſuite on tranſporte le poids *R* au cordon qui tient au bras *D* du levier angulaire, & l'on place le cordon de la poulie, comme *PA*, *FE*.

Enfin le poids *R* étant remis à ſa premiére place, & le levier angulaire étant tourné de maniére que *D* ſoit en *d*, & *E* en *e*, on attache le poids *P* au bout d'un cordon *d p*, & le cordon de la poulie qui le portoit, au bras *e* du levier tournant.

Effets.

Les deux poids *P*, *R*, ſont toujours en équilibre, non-ſeulement quand ils ſont tous deux dans des directions paralléles & verticales, mais encore

IX. LEÇON. lorſque l'un des deux agit horizontalement ſur la poulie, ſoit que la corde embraſſe les trois quarts de la poulie, ſoit qu'elle n'en embraſſe qu'un quart.

EXPLICATIONS.

La poulie *AFB*, peut être regardée comme un aſſemblage de leviers du premier genre, dont les bras ſont égaux, & qui ont un point d'appui commun au centre *C* où eſt l'axe. Lorſque le cordon eſt vertical de part & d'autre, s'il ne peut pas gliſſer ſur la poulie, il doit avoir le même effet que s'il étoit de deux piéces, dont une fût attachée en *A*, & l'autre en *B*. Il y a donc équilibre entre les deux poids *P*, *R*, parce qu'ils agiſſent à des diſtances égales du point d'appui, & que chacun d'eux fait ſon effort dans une direction perpendiculaire au bras du levier *AC*, ou *BC*.

L'équilibre ſubſiſte par les mêmes raiſons dans les deux autres cas; les rayons *GC* & *FC* ſont égaux aux deux premiers, *AC*, *BC*; & les directions *EF* & *eG* leur ſont perpendiculaires comme *RB* l'eſt à *BC*: toute la dif-

férence qu'il y a, c'eſt que les deux puiſſances agiſſent d'abord par un levier droit *A B*, & qu'enſuite elles ſont comme appliquées à des leviers angulaires *ACG*, ou *ACF*; ce qui eſt la même choſe, quant aux effets, comme nous l'avons fait voir ci-deſſus. *

IX. LEÇON.

* Page 47.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 37. repréſente une poulie composée de pluſieurs plans circulaires qui laiſſent entr'eux des épaiſſeurs, & dont les circonférences ſont creuſées en gorge; les diamétres, & par conſéquent les rayons de ces cercles, ſont entr'eux comme les nombres 1, 2 & 3. Sur la plus petite des trois circonférences on a placé une corde à laquelle ſont ſuſpendus deux poids de 6 onces chacun; & l'on a fixé en *a* & en *b* deux autres cordes qui embraſſent les deux autres circonférences, & qui pendent perpendiculairement aux points 2 & 3.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Quand les deux poids ſont en *H* & en *I*, il y a équilibre entre 6 onces d'une part & 6 onces de l'autre. Si l'on ôte celui qui eſt en *H*, un autre poids de 3 onces fait la même choſe en *K*; & quand celui-ci eſt ôté, 2 onces placées en *L* ſoutiennent le poids de 6 onces en *I*.

EXPLICATION.

Le rayon *C* 1 étant égal à *C d*, il y a équilibre entre deux poids égaux, parce que leurs efforts ſe font à égales diſtances du point d'appui. Mais *C* 2, étant double de *C d*, l'équilibre doit naître entre deux maſſes qui ſont en raiſon réciproque de ces deux longueurs; ainſi 3 onces en ſoutiennent 6; & par la même raiſon 2 onces ſuffiſent à une diſtance qui égale trois fois *C d*.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA poulie *G H*, *Fig.* 38. eſt ſuſpendue par ſon axe dans deux petites

boucles de métal qui sont soutenues de part & d'autre par des cordons qui passent sur deux petites poulies, & qui se réunissent à deux poids égaux *B*, *D*, de sorte que la grande poulie a deux mouvemens ; car elle tourne sur son axe à l'ordinaire, & son axe peut descendre avec elle d'une certaine quantité, lorsque la résistance des poids *B*, *D*, vient à céder.

EFFETS.

Ces deux poids cédent, & la poulie tombe d'environ deux pouces, lorsque deux autres poids *E F*, qui pesent ensemble & avec la poulie un peu plus que *B*, *D*, se trouvent dans des directions paralléles & verticales : & la poulie remonte en partie, lorsqu'ayant ôté le poids *F*, on retient avec la main le cordon dans la direction *AC*.

EXPLICATIONS.

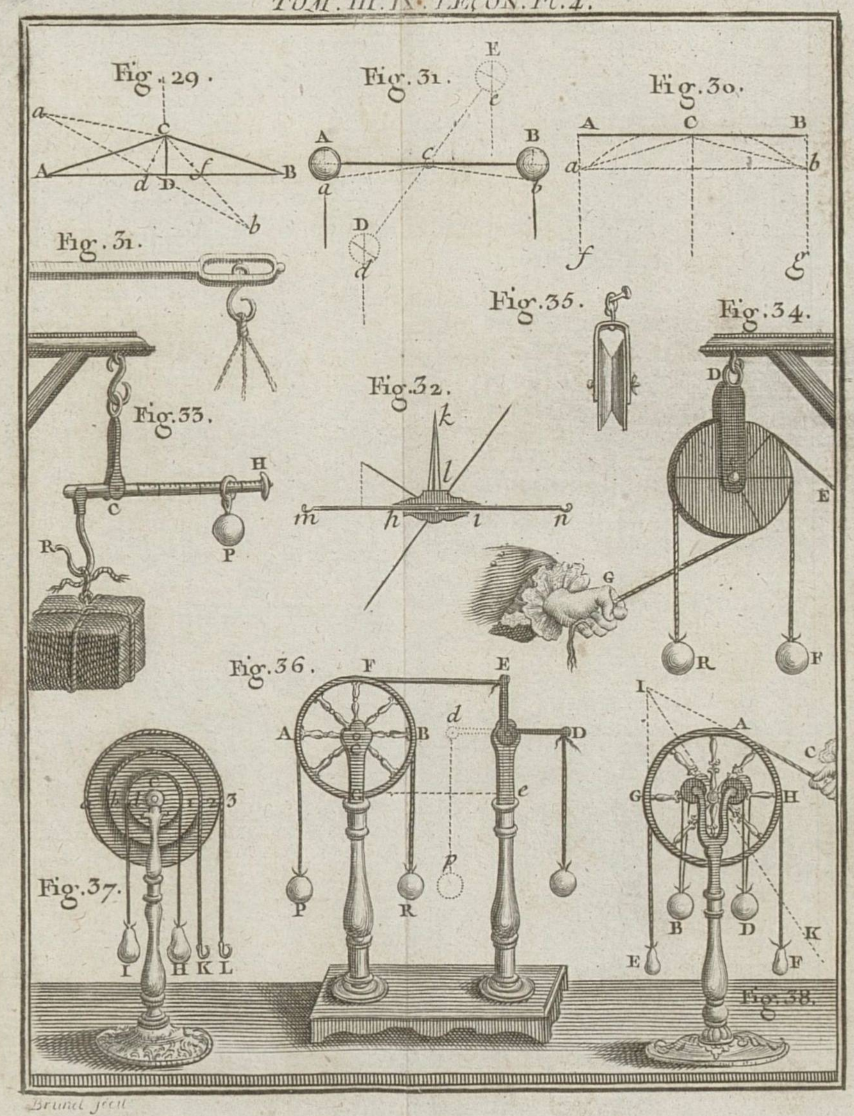
Quand les deux poids *E F*, sont suspendus parallélement, leurs efforts sont perpendiculaires à *G*, *H*, qu'on doit regarder comme les extrémités d'un levier droit ; & nous avons fait

IX. Leçon.

voir qu'en pareil cas le point d'appui porte la ſomme totale des deux maſſes ; l'axe qui le repréſente, ſouffre donc de haut en-bas un effort qui égale les deux poids *E*, *F*, & celui de la poulie pris enſemble ; les deux autres *B*, *D*, qui s'oppoſent à ſa chûte, & qui repréſentent ſa réſiſtance de bas en haut, ſont un peu plus foibles que cette ſomme ; c'eſt pourquoi la poulie deſcend. Mais elle ſe reléve, quand un des côtés de la corde ceſſe d'être paralléle à l'autre ; car alors l'effort qu'il ſoutient ſe fait ſelon la ligne *IK*, & ne porte plus qu'obliquement contre les puiſſances *B*, *D*.

Applications.

La poulie employée comme levier du premier genre, eſt un moyen ſimple & commode, & dont on ſe ſert fréquemment pour changer la direction du mouvement. Car de quelque maniére que ſe préſente une puiſſance dans le plan où eſt la poulie, elle ſe trouve toujours perpendiculaire à quelqu'un des rayons, ce qui lui conſerve toute ſon intenſité. Ainſi quoiqu'un cheval ou un bœuf


Fig. 29.
Fig. 31.
Fig. 30.
Fig. 31.
Fig. 35.
Fig. 34.
Fig. 32.
Fig. 33.
Fig. 36.
Fig. 37.
Fig. 38.
Brunet fecit

exerce naturellement ſa force dans une ligne horizontale, on peut néanmoins par des renvois de poulies appliquer ſes efforts à des réſiſtances qui ſont dirigées verticalement; quoiqu'un poids tende toujours à tomber, il peut être élevé, ſi par le moyen d'une poulie on le met en oppoſition avec un plus fort.

IX. LEÇON.

Les leviers coudés ou angulaires, comme nous l'avons déja fait remarquer, changent bien auſſi les directions; mais la poulie a cet avantage ſur eux qu'elle rend le mouvement continu, & qu'elle conſerve les puiſſances toujours dans les mêmes directions qu'on leur a fait prendre d'abord. Cette différence s'apperçoit aiſément par la ſeule inſpection des *Figures* 22. & 36.

COMME une poulie qui a pluſieurs gorges concentriques, * peut ſervir à rendre égales des forces qui ſont différentes entr'elles, lorſque les diamétres de ces gorges ſont dans des rapports convenables; on peut conſéquemment entretenir l'équilibre, ou bien un rapport conſtant entre deux puiſſances dont les forces relatives

* *Fig.* 37.

IX. LEÇON.

changent continuellement. Car au lieu de plusieurs gorges concentriques, on peut n'en faire qu'une qui ne rentre pas sur elle-même, mais qui prenant la d'une forme spirale, s'éloigne peu-à-peu du centre, suivant la proportion dont l'une des deux forces s'affoiblit.

Une des plus heureuses applications qu'on ait faites de cette conséquence, c'est d'avoir rendu uniforme l'action des ressorts qui animent les montres & les pendules. Nous avons dit dans la seconde Leçon *, que ces ressorts comme tous les autres, agissent toujours de plus en plus foiblement, à mesure qu'ils se détendent; le rouage qu'ils mettent en mouvement, leur opposant toujours la même résistance, il est évident que la montre ou la pendule iroit toujours en retardant, pendant tout le tems que le ressort mettroit à se développer, si l'on n'avoit pas trouvé un moyen de prévenir cet inconvénient. Au lieu d'envelopper sur un cylindre la chaîne qui sert à tendre le ressort, on la reçoit sur une fusée, dont la figure * est telle, que les tours vont toujours en diminuant de

* *Tome I. p. 135. Fig. 10.*

* *Fig. 39.*

de diamétre, comme la tension du ressort augmente. Tout l'art consiste à trouver ce rapport ; car la théorie ne peut servir qu'à en approcher, les Horlogers sont toujours obligés d'en venir à des épreuves, parce que les ressorts ne sont jamais réguliérement flexibles & élastiques dans toutes les parties de leur étendue.

IX. LEÇON.

QUAND on sçait de combien l'axe d'une poulie doit être chargé, on est en état de lui donner les dimensions les plus convenables, ce qu'on doit avoir principalement en vue, c'est premiérement, qu'il soit assez fort; secondement, qu'il n'ait que la grosseur nécessaire, afin d'éviter les frottemens d'une trop grande surface. Mais comme la chappe d'une poulie est toujours attachée à quelque point fixe, il faut aussi faire attention que ce qui la soutient soit assez stable pour résister aux efforts qui se font sur l'axe: il faut même avoir égard aux différentes directions que peuvent prendre ces efforts ; car tel appui résisteroit dans un cas, qui céderoit dans l'autre.

ON peut aussi considérer la poulie

IX. LEÇON.

ſimple comme un levier du ſecond genre; elle en a effectivement les propriétés, lorſque la réſiſtance *R*, *Fig.* 40. étant attachée à la chappe, un des bouts de la corde tient à un point fixe *a*, ou *g*, pendant que l'autre eſt tiré ou ſoutenu par la puiſſance *P*, ou *d*. Et alors ou les directions de la puiſſance & de la réſiſtance ſont paralléles entr'elles comme *c I*, *d E*, ou elles ſont inclinées l'une à l'autre comme *P k*, *c k*.

Dans le premier cas, la puiſſance ne porte que la moitié du poids de la réſiſtance; dans le ſecond, l'effort de la puiſſance diminue, & le point d'appui ſe dirige au point de concours des directions de la puiſſance & de la réſiſtance, c'eſt-à-dire, en *k*.

XIII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *Fig.* 41. ſont deux petites broches longues de trois pouces, qui gliſſent dans deux rainures à jour, pratiquées aux deux bras du ſupport *G*; la premiere ſert de point fixe à un cordon qui embraſſe une poulie char-

gée d'un poids *D*, & dont l'autre bout s'attache au bras d'une balance dont on a ôté un baſſin, & que l'on a miſe en équilibre avec elle-même, par le moyen d'un petit poids attaché en *H*; & cette balance eſt ſuſpendue à l'autre broche *B*. IX. LEÇON.

On met d'abord les deux petites broches à telle diſtance l'une de l'autre, que les deux bouts de la corde venant de la poulie ſoient parallèles entr'eux.

Enſuite en écartant les deux broches, on fait prendre aux deux bouts de la corde, des directions inclinées en ſens contraires ; & dans l'un & dans l'autre cas on charge le baſſin de la balance, autant qu'il le faut pour tenir le fléau dans une ſituation horizontale.

EFFETS.

La poulie & ſon poids *D*, peſant enſemble 8 onces, il n'en faut que 4 dans le baſſin de la balance pour faire équilibre, lorſque les deux bouts de la corde ſont parallèles entr'eux, & dans une direction verticale ; mais lorſqu'ils ſont inclinés comme *P l*,

IX. LEÇON.

g m, de la *Fig.* 40. il faut charger davantage le baſſin de la balance pour le tenir en équilibre.

EXPLICATIONS.

En conſidérant le bras *H* de la balance comme la puiſſance qui ſoutient la poulie & ſa charge, après que l'autre bout de la corde eſt fixé en *A*, le poids que l'on met dans le baſſin exprime ſans équivoque l'effort qui ſe fait ſur la puiſſance, lorſque tout eſt en équilibre. Or, on voit par les réſultats la preuve de ce que nous avons avancé ci-deſſus, ſçavoir, 1°. que les directions des forces oppoſées étant paralléles, la puiſſance ne ſoutient que la moitié de l'effort de la réſiſtance; car dans le premier cas où les deux bouts de la corde ſont paralléles entr'eux, *c i* *, direction de la réſiſtance, eſt auſſi paralléle à *d e* qui eſt celle de la puiſſance, & 4 onces dans le baſſin de la balance, en ſoutiennent 8 en *D*. 2°. Que les directions des forces oppoſées n'étant plus paralléles, la puiſſance n'eſt plus égale à la moitié de

* *Fig.* 40.

l'effort de la résistance, & que la direction du point d'appui passe au point de concours des deux autres directions; car dans le second cas de l'expérience, où la puissance agit obliquement comme *P k*, 4 onces dans le bassin de la balance ne suffisent plus pour faire équilibre, & l'angle *g k c*, est égal à celui de l'autre part *P k c*.

IX. LEÇON.

Quand les deux bouts de la corde sont paralléles, comme *a b*, *d e*, on peut les considérer comme étant attachés aux deux extrémités du diamétre *b e*; lorsqu'ils sont obliques, comme *P l*, *g m*, on peut les concevoir comme tenant aux points de tangence, *l*, *m*: mais les deux lignes *e b*, *m l*, sont deux leviers du second genre partagés l'un & l'autre en deux bras égaux par la direction *c i* de la résistance; le cordon suspendu en *a*, ou en *g*, transportant le point fixe en *b* ou en *m*, on voit tout d'un coup, que la puissance appliquée en *e* ou en *l*, agit toujours à une distance *e b*, ou *l m*, du point d'appui, double de celle de la résistance placée en *c* ou en *i*. Or suivant ce qui a été enseigné touchant le levier, 4 onces à une

IX. LEÇON.

distance double du point d'appui, sont capables d'en soutenir 8.

Mais quand la puissance se dirige obliquement, elle ne suffit plus aux mêmes effets qu'auparavant ; parce que la direction perpendiculaire au bras du levier, est, comme nous l'avons fait voir, la plus avantageuse de toutes, & que par conséquent toutes les autres le sont moins. Il est vrai que *P l*, est perpendiculaire au rayon *l c*; mais ce rayon par qui l'on peut concevoir que la puissance agit, est oblique à *c i*, direction de la résistance, ce qui revient au même.

Enfin le point d'appui dirige son effort par *g m*, quand la puissance s'incline comme *P l;* parce que dans l'instant de cette inclinaison la poulie n'étant point soutenue du côté de la puissance, elle roule jusqu'à ce qu'elle le soit également de part & d'autre, ce qui n'arrive que quand l'angle *g k c* est égal à celui de l'autre part *P k c*.

APPLICATIONS.

PUISQUE quand on a fixé la corde de la poulie en *A*, *Fig*. 41. il ne faut

plus en *H*, qu'une force de 4 onces pour en ſoutenir une autre de 8 en *D*; & qu'une force de 4 onces eſt toujours la même, ſoit qu'elle agiſſe de haut en bas, ſoit que ſon effort ſe faſſe de bas en haut par le moyen d'une balance ; on peut donc ſubſtituer au fléau *H K*, une autre poulie *L* ou *l*, *Fig.* 42. qui fera comme lui l'office d'un levier du premier genre, & il n'y aura jamais en *M* ou en *m*, qu'un effort de 4 onces à ſoutenir.

Si, pour réſiſter à cet effort de 4 onces, on prolonge la corde de *M* en *N*, *Fig.* 43. & qu'on la faſſe paſſer ſous une troiſiéme poulie *N O*; celle-ci ſemblable à la premiere, deviendra un levier du ſecond genre, où la puiſſance *O*, une fois plus loin du point d'appui *N*, que la réſiſtance qui charge l'axe, n'aura beſoin que d'une force abſolue qui ſoit moitié de la ſienne; il ne faudra donc plus qu'un effort de 2 onces de bas en haut, & s'il eſt plus commode de tirer de haut en bas, une quatriéme poulie donnera, comme la deuxiéme, cette direction.

IX. LEÇON.

La seconde & la quatriéme poulies qui servent de renvoi pour changer la direction, peuvent être placées dans une même chappe ; & si cette chappe est fixée par en haut, sa partie inférieure pourra elle-même servir de point fixe au premier bout de la corde que nous avons supposé être attachée en *F*.

Cette maniére de placer ainsi dans une même chappe plusieurs poulies ou parallélement entr'elles, ou les unes au-dessus des autres, est connue depuis long-tems sous le nom de *moufles*, ou poulies *mouflées*. Ces machines sont fort en usage pour élever de grands fardeaux ; & elles sont commodes en ce qu'elles occupent peu de place, & que l'on peut, sans embarras, augmenter à son gré l'action d'une même puissance ; mais cela ne se fait, comme dans toutes les autres machines, qu'aux dépens d'une plus grande vîtesse dans la puissance : car si la poulie qui est chargée de la résistance, *Fig.* 40. s'eleve jusqu'à la ligne *d a*, il est évident que la puissance qui produit cet effet, parcourt deux fois autant de chemin dans le même

même tems, puiſque les deux parties *a b*, *d e*, de la corde par laquelle elle agit, doivent ſe trouver au-deſſus de la ligne *d a*, quand le centre de la poulie y ſera parvenu; or ces deux longueurs *a b*, *de*, égalent deux fois la hauteur *c h*.

L'avantage que les poulies mouflées donnent à la puiſſance, ne peut pas être augmenté à l'infini; quand une fois les moufles contiennent une certaine quantité de poulies, les frottemens inévitables cauſent enſuite un déchet dans le produit des forces motrices, qui ſurpaſſe ce qu'on pourroit gagner en augmentant encore le nombre des poulies.

On doit auſſi diſpoſer les moufles de façon que les directions des cordes ſe trouvent paralléles le plus qu'il eſt poſſible; car nous avons fait voir que les puiſſances qui agiſſent obliquement, en ont moins de forces, toutes choſes égales d'ailleurs.

DES ROUES.

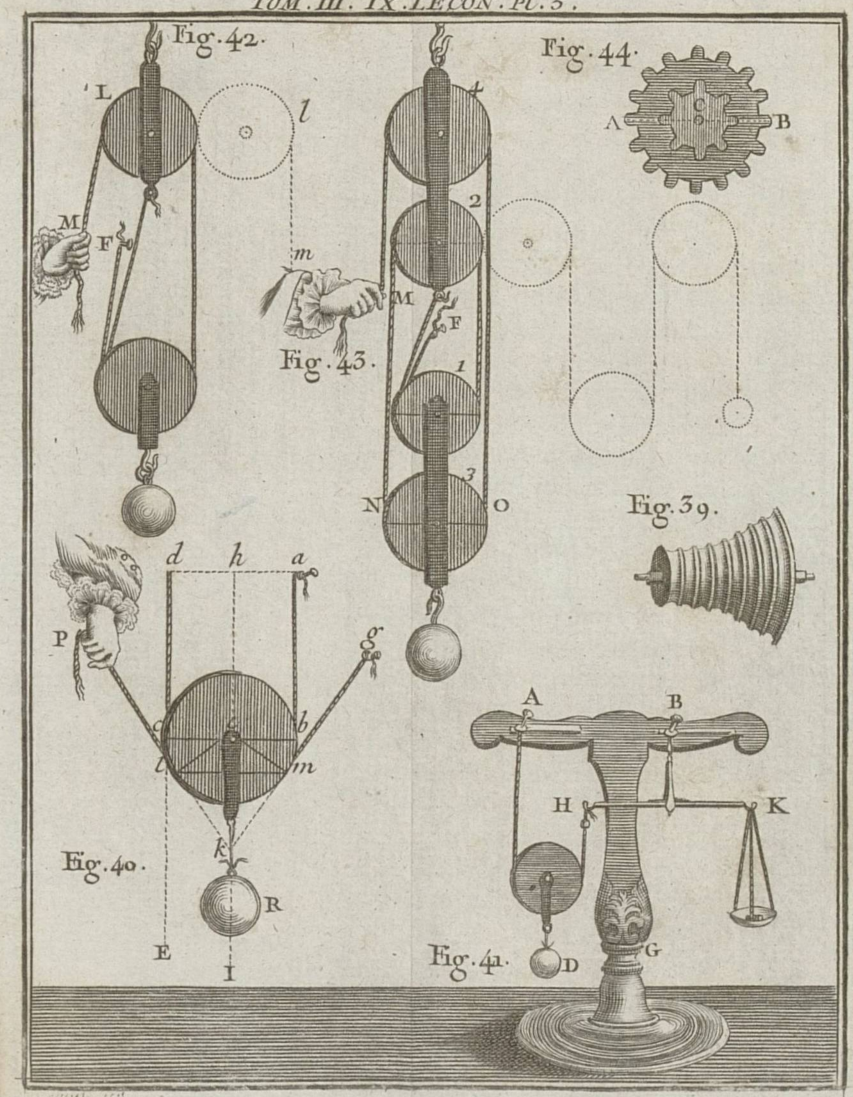
UNE *roue* eſt, comme la poulie, un corps rond, ordinairement plat, & mobile ſur ſon centre; la circonféren-

IX. LEÇON.

ce, au lieu d'être creusée en gorge, reçoit le mouvement qu'on lui communique, ou transmet celui qu'elle a reçu, par son frottement, ou par certaines parties saillantes qu'on y réserve ou qu'on y ajoute, & que l'on nomme *dents*, *chevilles* ou *vannes*, suivant la forme & la grandeur qu'elles ont.

Les roues se meuvent de deux façons, ou elles tournent toujours dans le même lieu, avec un axe qui est attaché à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui, comme on voit dans les horloges, tournebroches, moulins, &c. ou bien, roulant sur leur circonférence, elles portent leur centre, & l'axe qui le traverse, dans une direction parallèle au plan ou au terrein qu'elles parcourent : telles sont celles que l'on met aux carrosses & aux autres voitures.

Les roues qui n'ont qu'une sorte de mouvement, dont les axes ne font que tourner, doivent être considérées comme des leviers du premier genre, qui servent de même que la poulie, à changer la direction du mouvement, à le transmettre au loin,


Fig. 42.
L
l
M
F
Fig. 43.
m
M
F
2
1
3
N
O
Fig. 44.
A
B
C
Fig. 39.
d
h
a
P
g
c
b
l
m
k
R
Fig. 40.
E
I
A
B
H
K
G
D
Fig. 41.

à rendre égales entre elles des puiſ- ſances fort différentes l'une de l'autre, à augmenter la vîteſſe dans l'une des deux.

IX. LEÇON.

1°. Les deux dents *A*, *B*, *Fig.* 44. peuvent être priſes pour les extrémités d'un levier partagé en deux bras égaux par le point fixe ou centre de mouvement *C*; & ſi l'on place ſur le même axe une autre roue une fois plus petite, celle des deux puiſſances qui agit par la dent *a*, étant une fois plus près du centre que l'autre, devient par cette raiſon une fois plus foible. On peut donc par ce moyen rendre égale la force d'une livre à celle de deux.

2°. On auroit encore le même effet, ſi la petite roue, au lieu d'être immédiatement appliquée ſur la grande, étoit à l'autre bout de l'axe; de cette maniere le mouvement de la grande roue *H*, *Fig.* 45. ſe peut tranſmettre à une grande diſtance par la petite roue ou pignon *D*, qui tient au même arbre.

3°. Si ce dernier pignon engréne une autre roue *E*, qui ait des dents paralléles à ſon axe, le mouvement

IX. LEÇON.

qui lui ſera tranſmis changera de direction, & deviendra horizontal de vertical qu'il étoit.

4°. Enfin ſi la roue *E* a quatre fois plus de diamétre que le pignon *D*, comme celui-ci ne peut ſe mouvoir ſans la roue verticale *H*, il faut que l'une & l'autre faſſent quatre tours, pour faire tourner une fois la roue horizontale *E* : & réciproquement ſi l'on tourne une fois celle-ci, on fera tourner quatre fois le pignon, l'arbre & la roue verticale. Si l'on ſuppoſe donc à chacune des deux grandes roues une manivelle *F*, ou *G*, menée par un homme, qui lui faſſe faire un tour dans une ſeconde; le mouvement aura quatre fois plus de vîteſſe, lorſqu'il fera tourner la manivelle *F*, que quand on appliquera la même puiſſance en *G*.

Quant aux roues qui ont deux ſortes de mouvemens, comme celles des voitures, dont le centre ſe porte en avant tandis que les autres parties tournent autour de lui; on doit les regarder comme un levier du ſecond ou du troiſiéme genre, qui ſe répéte autant de fois qu'on peut imaginer

de points à la circonférence. Car chacun de ces points est l'extrémité d'un rayon appuyé d'une part sur le terrein, & dont l'autre bout chargé de l'essieu, qui porte la voiture, est en même-tems tiré par la puissance qui la mene; de sorte que si le plan étoit inflexible, parfaitement uni & de niveau, si la circonférence des roues étoit bien ronde & sans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe aux moyeux, & si la direction de la puissance étoit toujours appliquée parallélement au plan, une petite force meneroit une charrette très-pesante. Car la résistance qui vient de son poids, repose entiérement sur le terrein par le rayon *CM*, *Fig*. 46. ou par un semblable qui lui succéde l'instant d'aprés.

IX. LEÇON.

Mais de toutes les conditions que nous venons de supposer, & dont le concours seroit nécessaire pour produire un tel effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'usage ordinaire.

Les roues des charrettes sont grossiérement arrondies & garnies de gros clous ; les chemins sont inégaux par eux-mêmes, ou ils le de-

IX. Leçon.

viennent par le poids de la voiture qui les enfonce; ces inégalités, soit des roues, soit du terrein, font appuyer la roue par un rayon *C Q* ou *CN*, oblique à la direction de la puissance *P C*, ou à celle de la résistance *C M*; le poids qui réside en *C* pése donc en partie contre la puissance, qui ne peut le faire avancer, qu'en le faisant monter autant que le point *Q* ou *N* est au-dessus de *M*.

D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient sur des surfaces parfaitement unies & droites; il se fait indispensablement de l'essieu aux moyeux, un frottement qui est de nature à être toujours considérable, comme nous l'avons remarqué dans la troisiéme Leçon *.

* *Tome I. p.* 233.

Les creux & les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval placé plus haut ou plus bas, par la disposition du terrein, au lieu de faire son effort par la ligne *C P*, *Fig.* 46. parallele à la portion du plan qui porte actuellement les roues, le fait assez souvent par *C S*, ou *C R*, c'est-à-dire, obliquement à la direc-

tion *C M* de la résistance, & par conséquent avec désavantage.

Mais s'il n'est pas possible de se mettre absolument au-dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues ; car il est certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes, dans les inégalités du terrein, comme on le peut voir par la *Fig.* 47. & parce que la circonférence d'une grande roue mesure en roulant plus de chemin que celle d'une petite ; elle tourne moins vîte, ou elle fait un plus petit nombre de tours pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottemens.

Nous entendons par grandes roues celles qui ont cinq ou six pieds de diamétre; dans cette grandeur, elles ont encore l'avantage d'avoir leur centre à peu-près à la hauteur du trait d'un cheval, ce qui met son effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui pose verticalement sur le terrein ; c'est-à-dire, dans la direction la plus favorable, au moins dans les cas les plus ordinaires.

IX. LEÇON.

Du TREUIL, *ou* TOUR : *&* *du* VINDAS *ou* CABESTAN.

L'INSPECTION seule des *Figures* 48. & 49. suffit pour faire connoître que ces deux machines, à proprement parler, sont la même à qui l'on donne différens noms, selon les différentes positions dans lesquelles on l'employe. Qnand le rouleau ou cylindre *AB*, qui reçoit la corde, & qui est la partie principale, se trouve placé horizontalement, la machine se nomme *Tour* ou *Treuil*; elle s'appelle *Vindas* ou *Cabestan*, quand ce même rouleau est vertical.

Ces deux machines sont employées fréquemment aux puits, aux carriéres, dans les bâtimens, pour élever les pierres & autres matériaux, sur les vaisseaux & dans les ports, pour lever les ancres, &c. Et quand on y fait attention, on les retrouve en petit, dans une infinité d'autres endroits où elles ne sont différentes que par la façon, ou par la matiére dont elles sont faites. Les *tambours*, les *fusées*, les *bobines* sur lesquelles on

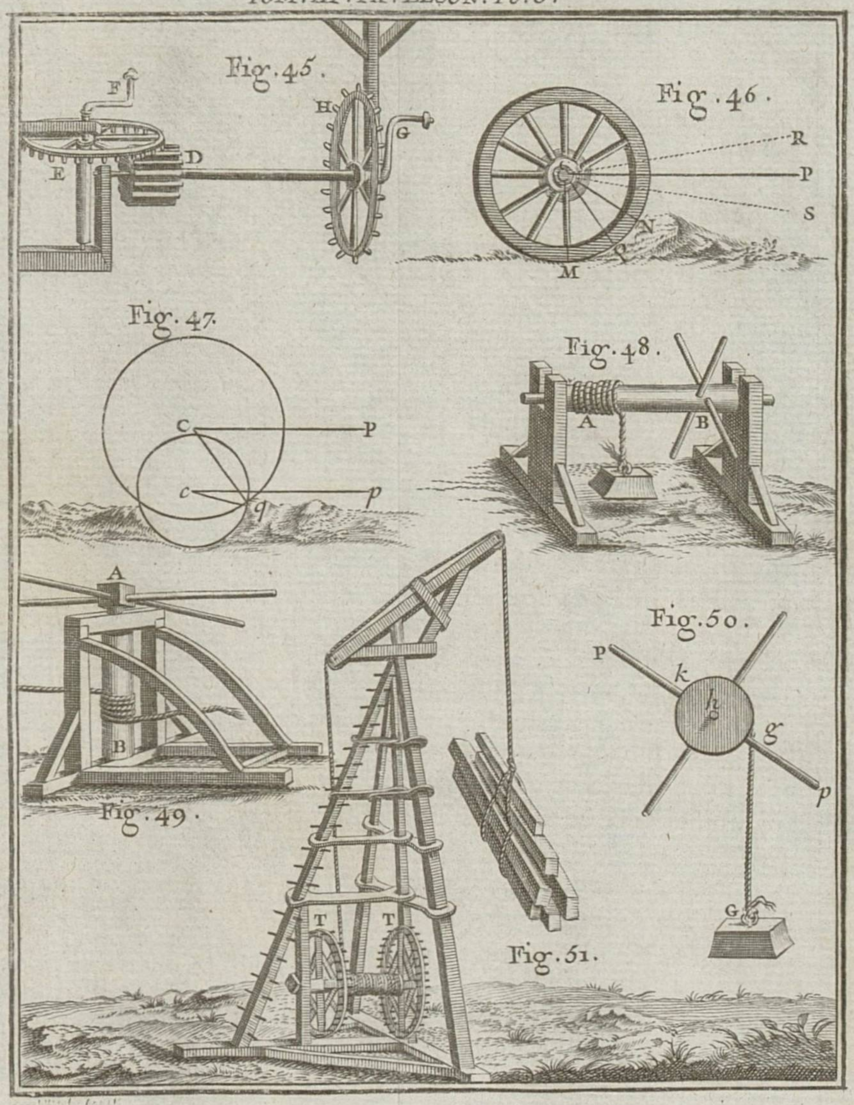
enveloppe les cordes ou les chaînes, pour remonter les poids ou les ressorts des horloges, des pendules, des montres mêmes, &c. doivent être regardés comme autant de petits treuils & de petits cabestans.

Ce que nous avons dit des poulies & des roues, comprend ce qu'il y a de plus important à sçavoir touchant le treuil : car si l'on conçoit l'arbre tournant comme une suite de poulies enfilées sur le même axe, si l'on considére les leviers en croix, qui servent à le mettre en mouvement, comme des rayons prolongés, de la premiere de ces poulies; enfin, si l'on fait attention que quand l'axe tourne, tout ce qui fait corps avec lui participe à son mouvement; on verra tout d'un coup que cette machine fait l'office d'un levier sans fin, du premier ou du second genre, qui a deux bras inégaux à compter du point fixe *h*, sçavoir, le demi-diamétre du cylindre *g h*, *Fig.* 50. par lequel agit la résistance, & un autre rayon *h K* du même cylindre prolongé par un des leviers qui forment la croix, & par lequel la puissance fait son effort.

IX. LEÇON.

La puiſſance *P* ou *p* eſt donc à la réſiſtance *G*, comme la longueur *P h*, ou *p h*, eſt à *g h*, ou *K h*; c'eſt-à-dire, que ſi chacun des leviers croiſés, à compter depuis le centre du cylindre, eſt quatre fois plus long que le demi-diamétre *g h*, un poids de 400 livres, attaché à la corde *G g*, peut être ſoutenu par un effort équivalent à 100 livres, qui réſiſteroit en *P*.

Mais ſi l'on n'avoit qu'un effort de 100 à employer de cette maniére contre 400; lorſque le levier *P* viendroit à tourner, la puiſſance prendroit une direction déſavantageuſe & ne ſuffiroit plus, comme on l'a expliqué en parlant des manivelles; & d'ailleurs, ſi ces leviers croiſés étoient fort longs, un homme ne pourroit pas facilement quitter l'un pour reprendre l'autre; c'eſt pourquoi aux carriéres, aux miniéres, & dans les grues où le treuil eſt employé en grand, les leviers croiſés aboutiſſent à une circonférence, & forment une grande roue que l'on garnit de chevilles, comme *T*, *T*. *Fig.* 51. Par ce moyen la force des hommes, toujours appliquée à une même diſtance du


Fig. 45.
F
H
G
D
E
Fig. 46.
R
P
S
N
M
Fig. 47.
C
P
c
p
q
Fig. 48.
A
B
A
B
Fig. 49.
Fig. 50.
P
k
h
g
p
G
T
T
Fig. 51.

centre de mouvement, & perpendiculairement au levier, agit uniformément, & plusieurs peuvent travailler en même tems par un même rayon sans s'incommoder réciproquement. IX. LEÇON.

Si la corde, après avoir enveloppé le rouleau dans toute sa longueur, retournoit sur elle-même pour l'envelopper une seconde ou une troisiéme fois, comme il arrive quand on se sert du treuil pour élever des fardeaux à une grande hauteur; il faut avoir égard à l'augmentation du diamétre du rouleau; car puisque son rayon est le levier de la résistance, quand le diamétre de la corde est ajouté une ou deux fois à la longueur de ce rayon, l'effort du fardeau se trouve plus loin de l'axe ou point d'appui, ce qui l'augmente d'autant: mais aussi, par une sorte de compensation, la partie de la corde qui est enveloppée sur l'arbre, cesse de peser contre la puissance.



IX. LEÇON.

II. SECTION.

Du plan incliné.

EN traitant de la pesanteur dans la sixiéme leçon *, nous avons donné la définition du plan incliné, & nous avons fait connoître comment & dans quels rapports il retarde la chûte des corps graves. Nous supposerons donc comme une vérité prouvée, qu'une masse qui roule ou qui glisse de haut en bas le long d'un plan incliné, est en partie soutenue par ce plan, & qu'elle l'est d'autant plus, que l'inclinaison est plus grande.

* *Tome II. pag.* 177 & *suiv.*

Il suit de ce principe, qu'une puissance appliquée à soutenir un corps sur un plan incliné, n'a pas besoin d'être égale au poids de ce corps : & comme un poids n'est autre chose qu'une force dont la direction est déterminée, on peut dire plus généralement, qu'une puissance quelconque, qui est obligée de suivre un plan incliné à sa direction, peut être égalée ou vaincue par une autre puissance plus foible.

IX. LEÇON.

Mais puiſqu'un plan fait obſtacle à la chûte d'un corps, parce qu'il eſt oblique à la direction de la peſanteur, on doit préſumer qu'il affoiblira de même toute autre puiſſance dont la direction ſera oblique à la ſienne; & en effet l'expérience prouve, 1° : Qu'une petite force en ſoutient une plus grande ſur un plan incliné; 2° : Qu'une petite force employée contre une plus grande, n'agit jamais avec autant d'avantage, que quand ſa direction eſt paralléle au plan incliné, par lequel elle fait ſon effort.

I. EXPERIENCE.

PREPAPATION.

LA machine qui eſt repréſentée par la *Fig.* premiere, eſt compoſée d'une tablette *A C*, longue d'environ 15 pouces & large de trois ou quatre; elle eſt jointe par une charniére en *C* à une autre tablette au bout de laquelle eſt fixé un quart-de-cercle qui ſert à régler & à fixer ſon inclinaiſon: *D* eſt un cylindre de bois dur qui péſe 5 ou 6 onces, & qui tourne très-librement ſur ſon axe, dans une eſpé-

IX. LEÇON.

ce de chappe de métal, ſoutenue par deux cordons qui paſſent ſur deux poulies de renvoi *e*, *e*, & au bout deſquels ſont attachés deux poids *d*, *d*, de deux onces chacun. Les deux petites poulies ſont portées par une piéce de métal, que l'on peut placer à différens endroits ſur le quart-de-cercle.

On incline le plan *AC* à peu-près de 45 degrés; on place le cylindre ou rouleau *D* en ſa partie inférieure, & l'on met les poulies de renvoi de façon que les cordons qui tirent le rouleau ſoient paralléles au plan incliné, & on laiſſe agir les deux poids *d*, *d*.

Enſuite on répéte la même choſe, excepté ſeulement qu'on place les poulies de renvoi en *E* ou en *F*, afin que leurs directions ſe trouvent au-deſſus & au-deſſous du plan incliné, & faiſant un angle avec lui, comme *ADF*, ou *ADE*.

EFFETS.

Les cordons étant dans une direction paralléle au plan incliné, les deux poids qui péſent enſemble 4 onces, commencent à enlever le rouleau qui en péſe environ 6. Mais

lorſqu'on a placé les poulies en *F* & en *E*, ces mêmes poids ne ſuffiſent plus pour faire monter, ni même pour arrêter le rouleau. Le même effet arrive, ſi, au lieu de changer les poulies de place, on incline plus ou moins le plan *A C*.

EXPLICATIONS.

Le rouleau de notre expérience eſt un corps grave qui eſt naturellement déterminé à ſe mouvoir de haut-en-bas, & perpendiculairement au plan de l'horizon : deux cauſes concourent à l'arrêter ; la premiere eſt la réſiſtance du plan incliné ſur lequel il poſe ; la ſeconde eſt l'effort des deux poids *d*, *d*. Si cette derniere cauſe agiſſoit ſeule, il faudroit que la ſomme des deux poids fût égale à la maſſe du rouleau : on a vû par le réſultat de l'expérience, que 4 onces en ſoutiennent 5 ou 6, par le moyen du plan incliné ; il eſt donc indubitable qu'en pareil cas une petite force en peut ſoutenir une plus grande.

Pour rendre raiſon de cet effet, ſuppoſons que la ligne *a c*, *Fig.* 2.

IX. LEÇON.

ſoit le plan incliné, que le cercle *d f g* eſt la baſe du cylindre ou rouleau, que tout le poids de ce corps réſide au centre *k*, & qu'il eſt en équilibre avec une puiſſance dont la direction eſt *k p*, pendant que ſon poids le ſollicite à tomber par la ligne *k h*, perpendiculaire à l'horizon *b c*. Voilà donc deux forces appliquées à l'extrémité *k*, d'un même rayon ou levier, dont l'autre bout *d* eſt appuyé ſur le plan; mais l'une des deux fait avec ce levier un angle droit *p k d*, elle agit dans la direction la plus avantageuſe qu'elle puiſſe avoir; l'autre au contraire agit par une ligne inclinée à ce même levier, & fait avec lui un angle aigu *d k h*, ce qui le réduit à la longueur *d e*, ſelon ce que nous avons enſeigné dans la ſection précédente; ainſi comme *d e* eſt plus court que *d k*, on peut dire que le poids du rouleau le céde d'autant à la puiſſance *p*: & pour ramener ceci à une regle générale, on doit faire attention que le triangle *d k e* eſt ſemblable à celui qui repréſente le plan incliné *a b c*, & que les deux lignes *d e*, *d k*, par conſéquent ont le même

me rapport entr'elles que *a b* & *a c* ; d'où il ſuit cette propoſition, que *le poids du mobile eſt à la puiſſance qui le ſoutient, comme la hauteur du plan incliné eſt à ſa longueur :* c'eſt-à-dire, que ſi la ligne *a b*, hauteur du plan, eſt à la ligne *a c*, qui exprime ſa longueur, dans le rapport de 2 à 3, avec un effort de 2 onces on peut ſoutenir un poids de 3 onces, placé ſur un plan incliné.

IX. Leçon.

Mais comme la puiſſance n'a cet avantage ſur la réſiſtance qu'en conſéquence d'une direction plus favorable à ſon effort, elle doit en avoir moins lorſqu'elle ceſſe d'agir parallélement au plan ; car dans toute autre poſition, elle eſt inclinée au rayon *d k*. Le plan incliné n'eſt favorable à la puiſſance, que parce qu'il ſoutient en partie le poids du mobile. Quand cette puiſſance agit au-deſſus du plan comme *k i*, elle ne laiſſe pas porter au plan tout ce qu'il pourroit porter ; & ſi elle s'en éloigne juſqu'à tirer directement le poids ſuivant la ligne *k l*, il eſt évident qu'alors le plan n'eſt plus chargé de rien, & que l'effort de la puiſſance doit être égal au

poids du mobile pour le ſoutenir. Lorſqu'elle agit au-deſſous du plan, comme *k m*, une partie de ſa force eſt employée en pure perte contre le plan; & l'on conçoit bien que ſi elle s'abaiſſoit juſqu'à prendre la direction *k n*, la réſiſtance du plan devenant directe, l'empêcheroit d'avoir aucune action contre le poids du mobile.

IX. LEÇON.

Applications.

L'EXPÉRIENCE que nous venons d'expliquer fait voir, non-ſeulement qu'on peut tirer avantage des plans inclinés pour vaincre des réſiſtances, ou pour ſoutenir de grands poids avec des forces moins grandes qu'il n'en faudroit employer pour les arrêter, ou pour les élever dans une direction verticale; elle fait connoître auſſi, qu'un mobile dont le centre de peſanteur n'eſt point ſoutenu, doit toujours tomber, quoiqu'il poſe d'ailleurs. Car il ne ſuffit pas que le rouleau porte au point *d* ſur le plan *; ſans l'effort de la puiſſance *p* il rouleroit de haut en bas, parce que le centre de ſa peſanteur qui agit dans la di-

* Fig. 2.

rection *k h* n'est point soutenu.

C'est ainsi qu'on peut rendre raison d'une infinité d'effets dont on est surpris, & qu'on a peine à expliquer, quand on ignore, ou qu'on ne fait point attention à ce principe. La *Fig.* 3. par exemple, représente un solide *A* composé de deux cônes qui sont joints par leurs bases; on pose ce corps sur deux régles *B C*, *D C*, qui font ensemble un angle aigu, & qui sont plus élevées par l'autre bout *B*, *D*, de sorte qu'il est comme sur un plan incliné; lorsqu'on le laisse libre, il monte en roulant, & suit en apparence une route toute contraire à celle que tous les corps graves ont coutume de prendre.

Cet effet vient de ce que le centre de gravité du corps *A* n'est point soutenu; car lorsqu'il est placé en *C*, il y resteroit en repos, s'il portoit sur un rayon *a e*, perpendiculaire au plan horizontal *e f*; *Fig.* 4. mais comme les deux regles font un angle, elles touchent ce double cône par des points qui sont plus reculés comme *g* : ainsi le centre de gravité qui est en *a* porte à faux, & le corps entier com-

IX. LEÇON.

mence à rouler de *C* vers *B*. A meſure qu'il s'avance dans cette direction, les deux régles étant de plus en plus écartées, le mobile deſcend d'une quantité égale au demi-diamétre *a e*, plus grande que la hauteur *f B*, à laquelle il ſemble s'être élevé ; & le point *a*, par rapport à l'horizon, deſcend réellement de la quantité *h B*.

Si les corps tombent toutes les fois que le centre de gravité n'eſt point ſoutenu, il eſt vrai de dire auſſi qu'ils ne tombent jamais, tant que ce même centre eſt appuyé; c'eſt pour cela qu'on voit tant d'édifices, qui ont perdu leur a-plomb & qui ne laiſſent pas que de ſe ſoutenir, & certains ouvrages bâtis en ſaillie, qui ne manquent point pour cela de la ſolidité qu'il leur convient d'avoir.

On ſeroit peut-être tenté de croire que c'eſt pour le bon air qu'un danſeur de corde geſticule preſque toujours des bras; mais la vraie raiſon, c'eſt que comme il marche ſur une eſpéce de plan très-mobile, qui s'incline continuellement, & de différentes maniéres ſous ſes pas : lorſqu'il s'apperçoit que le centre de ſa peſan-

teur n'eſt pas ſoutenu, il le rappelle dans la ligne de direction, en allongeant le bras du côté oppoſé, comme un levier dont le poids eſt d'autant plus puiſſant que ſes parties ſont plus loin du centre de leur mouvement: & lorſqu'il n'eſt point encore aſſez habile dans ſon art, il employe pour cet effet un contrepoids, qu'il avance à droite & à gauche, ſelon le beſoin.

Les enfans qui commencent à marcher, & qui n'ont point encore acquis l'habitude de diriger leurs corps relativement aux différens plans ſur leſquels ils paſſent, évitent, par les mouvemens de leurs bras, une partie des chûtes auſquelles les expoſe preſque continuellement une démarche qui n'eſt pas encore bien aſſûrée.

Pourquoi les perſonnes qui ont un gros ventre ſe penchent-elles en arriére? c'eſt que ſans cette attitude, le centre de peſanteur trop peu ſoutenu, les mettroit en danger de tomber ſur la face. Un crocheteur au contraire, qui porte un gros fardeau ſur le dos, ſe courbe en avant, parce

IX. Leçon.

que ſa charge & lui ont un ceutre de gravité commun, qui le plus ſouvent ſe trouve placé hors du porteur, & qui ne ſeroit point ſoutenu s'il marchoit droit. Il faut donc de néceſſité qu'il ſe penche juſqu'à ce que ce centre ſe trouve dans une ligne verticale qui paſſe entre ſes deux pieds.

Quand on veut ſe tenir debout ſur une jambe, on eſt obligé de faire un mouvement de côté, pour mettre le corps perpendiculairement ſur celui des deux pieds qui doit le ſoutenir; ſi l'on veut ſe baiſſer en portant la tête en avant, il faut néceſſairement porter en arriére la partie oppoſée, pour entretenir l'équilibre entre l'une & l'autre; voilà pourquoi l'on ne peut ni ſe tenir ſut un ſeul pied, ni rien ramaſſer devant ſoi en ſe baiſſant, lorſque l'on a immédiatement à côté & derriére ſoi un mur ou un arbre qui empêche les mouvemens qu'il faut faire, pour placer ou pour maintenir le centre de gravité dans la ligne de direction qui paſſe au point d'appui.

DES MACHINES

Qui ſont composées de plans inclinés.

PARMI les machines qui agiſſent comme plans inclinés, les plus ſimples, & celles dont l'uſage eſt le plus commun, ſont les *Coins* & les *Vis* : je me bornerai à ces deux eſpéces ; & en examinant leurs principales propriétés, j'en indiquerai quelques autres qui peuvent s'y rapporter.

DU COIN.

ON donne communément le nom de Coin à un corps dur composé de trois plans qui terminent deux triangles comme *D A C*, *Fig.* 5. les deux plus longs de ces plans forment un angle à la ligne *A a*, qu'on appelle *la Pointe* ou *le Tranchant* : le plus petit *D c*, qui détermine leur écartement ſe nomme *la Baſe*, ou *la Tête*, & la hauteur ſe meſure par la ligne *A B* qu'on regarde auſſi comme l'*axe* du coin.

On ſe ſert ordinairement de cette machine pour fendre, ſoulever, ou preſſer quelque matiére ; & pour la

IX. LEÇON.

faire agir, on employe la pression d'un ressort ou d'un poids, & plus communément encore le choc d'un corps dur qu'on fait mouvoir avec une certaine vîtesse, comme un marteau, un maillet, &c.

Le plus souvent la résistance que l'on a à vaincre avec le coin. vient de la ténacité des parties qu'il faut désunir & écarter ; cette adhérence qui varie à l'infini, selon la nature des corps, leur grandeur, leur figure, & quantité d'autres circonstances, ne peut s'estimer que très-difficilement ; d'un autre côté, la percussion que l'on employe pour faire agir le coin, est une force qu'il est bien difficile de comparer sans erreur à celle d'une simple pression, parce que le produit de son effort ne dépend pas seulement de la quantité du mouvement dans le corps qui frappe, mais encore de la nature de celui qui est frappé, de la maniere dont il reçoit le coup, & de plusieurs autres causes qui influent souvent plus ou moins qu'on ne l'a pensé. J'écarterai donc toutes ces considérations comme étrangéres à mon objet présent ; & pour

pour me renfermer précisément dans les propriétés du coin, je supposerai des puissances dont on connoît la force absolue, comme des poids ou des ressorts d'une force déterminée, afin de n'avoir plus à considérer que les rapports que prennent entr'elles la puissance & la résistance, par la seule interposition du coin. IX. LEÇON.

En considérant les différentes maniéres dont le coin peut agir, j'en conçois principalement deux, ausquelles il me semble qu'on peut rapporter toutes les autres avec des modifications. Premiérement, j'imagine deux corps *A*, *B*, *Fig. 6.* appuyés sur un plan bien solide, sur lequel ils ne puissent que glisser ou rouler dans les directions *CD*, *CD*; je suppose aussi qu'une force déterminée, comme de 10 livres, par exemple, appliquée en *E*, s'oppose à ce mouvement: si je fais descendre entre les deux corps, le coin *FGH* de toute sa hauteur, il est certain qu'à la fin de cette action les deux mobiles *A*, *B*, seront écartés l'un de l'autre de toute la largeur de la base *FH*. On conçoit bien aussi qu'ils le seroient plus ou moins, si j'employois

IX. LEÇON.

un autre coin dont l'angle fût plus ou moins ouvert, comme *i m G*, ou *l n G*; mais pour transporter ainsi deux masses qui résistent, il faut de la force, & l'on est obligé d'en employer davantage quand on les transporte à une distance plus grande dans un temps déterminé.

Secondement, je me représente un coin qui fait effort pour écarter davantage les deux parties d'une buche entr'ouverte, *Fig.* 7. tandis qu'elles résistent à cet écartement, par la liaison des fibres qui sont encore unies au-dessous de l'angle *p*. Je conçois les deux lignes *s p*, *p q*, & de l'autre part *t p*, *t r*, comme deux leviers angulaires, dont les bras *p r*, *p q*, sont liés ensemble par des fils également distans l'un de l'autre ; le coin agissant en *t* & en *s*, fait donc son effort par les deux bras *t p*, *s p*, contre le premier lien qui est à l'angle *p*, tandis que les deux autres bras s'appuyent mutuellement l'un contre l'autre au-dessous. Si ce lien est inflexible, & qu'il ne puisse céder sans se rompre, l'effort du coin produira cet effet s'il excéde un peu la force de ce fil; & s'il est une

fois rompu, celui qui le suit immédiatement, quoiqu'aussi fort, se rompra plus facilement par la même action du coin, parce qu'alors le levier de la puissance est augmenté en longueur, comme on le peut voir par les deux lignes ponctuées qui répondent au second lien; & par la même raison, cet avantage que reçoit la puissance doit aller toujours en augmentant. N'est-ce pas pour cela que les bois durs & secs, les pierres, le verre, & en général toutes les matiéres dont les parties sont fort roides, se cassent par éclat, & se fendent fort aisément dès qu'on a commencé à les entamer? Il n'en seroit pas tout-à-fait de même si ces liens que je suppose étoient fléxibles, parce que les premiers venant à céder un peu, laisseroient porter aux autres une partie de l'effort du coin, & la même force ne suffiroit pas pour les rompre tout-à-fait.

Que le coin agisse de l'une ou de l'autre façon, il paroît 1°: Qu'on peut s'en servir avantageusement pour vaincre de grandes résistances: 2°. Que son action devient d'autant

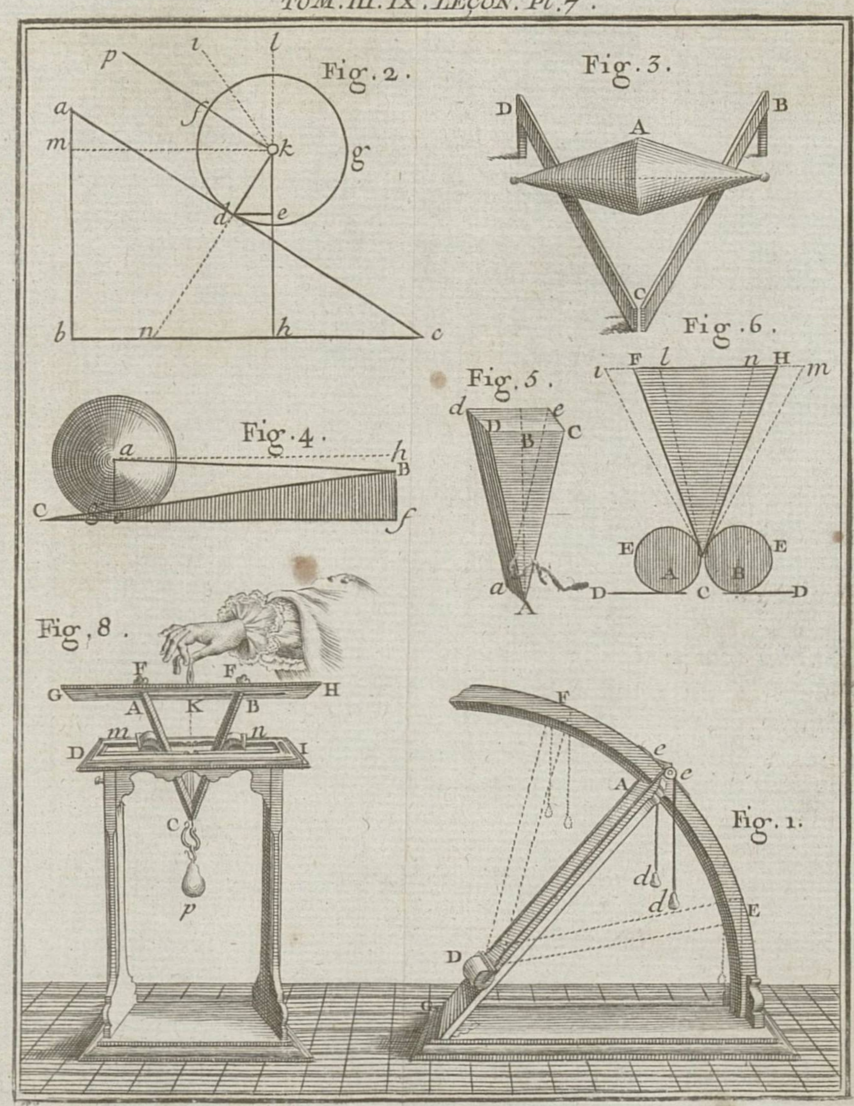
IX. LEÇON.

plus puissante, qu'il est plus aigu. L'expérience, en confirmant ces deux propositions, nous donnera lieu de déterminer le rapport des puissances qui agissent l'une contre l'autre par le moyen de cette machine.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LES deux plans *A C*, *A C*, *Fig.* 8. forment les deux faces d'un coin, qui peut devenir plus ou moins aigu, par le moyen d'une charniere qui est au point *C*, & de deux écrous *E*, *F*, qui arrêtent les deux autres extrémités à la régle *G H*; pour cet effet cette derniere piece doit être percée d'une rainure à jour dans laquelle on fait glisser deux tourillons à vis que l'on a ajoutés aux bouts des deux plans. *D I* est un chassis placé horizontalement sur deux montans qui aboutissent à une tablette qui leur sert de pied. Deux rouleaux *m*, *n*, tournent dans de petites chappes qui glissent avec beaucoup de facilité, sur deux fils de métal tendus d'un bout à l'autre du chassis. Deux cordons qui tiennent de


Fig. 2.
p
i
l
a
f
m
k
g
d
e
b
n
h
c
Fig. 3.
D
B
A
C
Fig. 6.
i
F
l
n
H
m
E
A
B
E
D
C
D
Fig. 5.
d
e
D
C
B
a
A
Fig. 4.
a
h
B
C
f
Fig. 8.
F
F
G
H
A
K
B
m
n
D
I
C
p
F
e
A
e
Fig. 1.
d
d
E
D

part & d'autre aux chappes des rouleaux, & qui paſſent ſur deux paires de poulies placées au milieu du chaſſis *D I*, ſont reçus en *C* par une bride de métal à laquelle on attache un poids. On voit, par cette diſpoſition, que les rouleaux ne peuvent être écartés l'un de l'autre que par une force capable d'élever le poids *p*, & que le coin *A B C*, agiſſant contre eux par ſon propre poids, ou par celui qu'on lui ajoute, il eſt facile de comparer l'effort de la puiſſance avec celui de la réſiſtance.

Le poids *p* étant de deux livres, on rend le coin tellement aigu, que ſon propre poids ſuffiſe pour écarter les rouleaux; enſuite on l'ouvre de maniere que ſa baſe *A B*, ſoit égale à la moitié de la hauteur *K C*.

EFFETS.

1°. Lorſque le coin eſt aſſez aigu, quoiqu'il ne péſe qu'environ 8 onces, ſon effort devient ſuffiſant pour écarter les rouleaux.

2°. Lorſque ſa hauteur égale deux fois la largeur de ſa baſe; il écarte encore les rouleaux, c'eſt-à-dire, qu'a-

IX. LEÇON.

vec un effort d'une demi-livre il fait équilibre à une force qui eſt quadruple.

EXPLICATIONS.

Si le poids *p* de notre expérience, étoit partagé en deux autres d'une livre chacun, comme *p*, *r*, *Fig.* 9. & que les deux rouleaux *m*, *n*, ne puſſent s'écarter l'un de l'autre ſans faire monter d'autant ces deux poids, il eſt certain que ſans l'interméde de la machine, il faudroit une maſſe égale à deux livres pour leur faire équilibre, & un peu plus pour les faire monter: or nous voyons que par le moyen d'un coin, 8 onces les enlevent; nous voyons auſſi qu'avec ces 8 onces on produit le même effet quand la baſe du coin égale ſeulement la moitié de ſa hauteur: nos deux propoſitions ſont donc prouvées; il s'agit maintenant d'expliquer le fait.

La force d'un corps qui ſe meut, ou qui tend à ſe mouvoir, vient de ſa maſſe & du degré de vîteſſe qu'il a ou qu'il auroit ſi le mouvement avoit lieu. Or le coin *a b c* ne peut deſcendre de toute ſa hauteur, que les rouleaux ne

parcourent en même temps les deux espaces *c l*, *c i*, & que par conséquent les deux poids *p*, *r*, ne fassent autant de chemin en montant ; mais chacun de ces espaces n'est que le quart de la hauteur du coin, de sorte qu'un poids placé en *k* fait dans le même tems quatre fois autant de chemin en descendant, que les poids *p*, *r*, en font en montant ; ainsi dans le cas de l'équilibre, le poids *k* doit être à la somme des deux autres en raison réciproque des vîtesses, c'est-à-dire, une demi-livre contre 2 livres lorsque la ligne *k c* est quadruple de la ligne *a k*; d'où il suit cette proposition générale : *La puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la demi-base du coin est à sa hauteur;* ce qui n'a lieu cependant à la rigueur, que quand les forces opposées peuvent être comparées à des poids, comme dans l'expérience précédente, & que le coin est bien aigu.

APPLICATIONS.

LES usages du coin ne sont pas bornés à fendre du bois ou des pierres, & sa forme n'est pas toujours celle d'un morceau de fer grossiérement aiguisé

IX. LEÇON.

qu'on chaſſe à coups de marteaux : on peut dire en général que tous les outils tranchans, de quelque nature qu'ils ſoient, la coignée & la ſerpe du bûcheron, le ciſeau & la gouge du ſculpteur & du menuſier, la lancette & le ſcapel du chirurgien, le couteau & le raſoir qui ſont entre les mains de tout le monde, ſont autant de coins, dont l'angle, la grandeur, la figure, la dureté ſont proportionnés à la qualité des matiéres ſur leſquelles ils doivent agir, & à l'action du moteur qui doit régler leur effort. Cette obſervation ſe préſente d'elle-même, lorſqu'on fait attention que tous ces inſtrumens ont eſſentiellement deux ſurfaces plus ou moins inclinées l'une à l'autre, & qui forment toujours à l'endroit de leur jonction, un angle plus ou moins aigu.

Comme c'eſt l'angle qui eſt la partie eſſentielle du coin, il n'eſt pas néceſſaire qu'il ſoit formé par le concours de deux ſeuls plans ; les clous qui ont quatre faces qui aboutiſſent à une même pointe, les poinçons ronds, les épingles, les aiguilles, &c. dont la ſuperficie peut être regardée com-

me un assemblage de lignes qui se réunissent à un angle commun, sont aussi l'office de coins, & doivent être considérés comme tels. IX. Leçon.

Il faut remarquer que, parmi les différentes sortes de tranchans, il y en a beaucoup que l'on fait agir en les traînant selon leur longueur, en même temps qu'on les appuye directement contre le corps qu'on veut entamer; tels sont les couteaux, les bistouris, &c. Ces sortes d'instrumens agissent en même temps comme des coins & comme des scies; car il faut savoir que le tranchant le plus fin est composé de parties qui ne sont pas toutes exactement dans la même ligne: les unes plus hautes que les autres forment autant de petites dents qu'on peut appercevoir avec le microscope, & qui ne tiennent pas contre un long usage; c'est pourquoi l'on a soin de les réparer comme on les avoit fait naître, en frottant les faces de la lame sur une pierre à aiguiser; (ce que l'on nomme *donner le fil*:) tout instrument qui coupe de cette maniere n'a pas besoin qu'on l'appuye aussi fort qu'un autre; c'est pourquoi

IX. LEÇON. dans les opérations de Chirurgie on préfére, autant que l'on peut, l'usage du biſtouri à celui des ciſeaux qui ne coupent qu'en ſerrant, pour éviter la contuſion des parties, & pour épargner de la douleur au malade.

Mais quoiqu'un tranchant ſoit fait pour couper en traînant, comme les couteaux ordinaires, il ne faut point oublier qu'il peut auſſi entamer & diviſer un corps contre lequel il ne ſeroit que preſſé directement. C'eſt une témérité que de frapper, comme on fait quelquefois, avec la paume de la main ſur le tranchant d'un raſoir; la peau véritablement réſiſte un peu plus quand l'inſtrument n'agit ſur elle que comme un coin, ſur-tout s'il attaque à la fois une grande étendue; mais il eſt toujours dangereux d'eſſayer juſqu'où peut aller cette réſiſtance.

Des Vis.

La *Vis* eſt un cylindre ou un cône fort allongé ſur lequel on a creuſé une gorge qui tourne en ſpirale; la cloiſon qui eſt réſervée entre les tours de cette gorge, s'appelle le *Filet* de la vis; & la diſtance qu'il y a d'un filet à l'autre

ſe nomme le *Pas*: on pratique auſſi ce filet & cette gorge dans une cavité cylindrique pour en faire une vis intérieure; & quand ces deux ſortes de vis ſont tellement proportionnées que le filet de l'une peut ſe mouvoir dans la gorge de l'autre, & réciproquement, celle qui eſt creuſe prend le nom d'*Ecrou*.

En jettant ſeulement les yeux ſur les *Fig.* 10 & 11 on reconnoît facilement que le filet d'une vis, à ne conſidérer que l'endroit qui reçoit l'effort de la réſiſtance, n'eſt autre choſe qu'un plan incliné à la baſe du cylindre qu'il enveloppe; & que ce plan eſt d'autant plus incliné que les pas ſont moins grands; ainſi lorſqu'une vis tourne dans ſon écrou, ce ſont deux plans inclinés dont l'un gliſſe ſur l'autre. La hauteur eſt déterminée pour chaque tour par la diſtance d'un filet à l'autre, & la longueur eſt donnée par cette hauteur, & par la circonférence de la vis; car ſi l'on développe un de ces filets *a b*, avec ſon pas *b c*, on aura le triangle *a b c*, *Fig.* 10.

Quand on veut faire uſage de cette machine, on attache ou l'on appli-

IX. LEÇON.

que l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la résistance qu'il faut vaincre, & l'autre lui sert comme de point d'appui ; alors en tournant, on fait mouvoir l'écrou sur la vis, ou la vis dans l'écrou, selon sa longueur ; & ce qui résiste à ce mouvement, avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires est poussée par l'action d'une vis contre l'autre, à laquelle est fixé un écrou : il faut, comme on voit, que la puissance fasse un tour entier pour faire avancer la résistance d'un pas, c'est-à-dire, d'un filet à l'autre : ainsi en la supposant appliquée immédiatement à la circonférence de la vis, l'espace qu'elle parcourt, ou son degré de vîtesse, est *a c*, & celui de la résistance est *b c*; mais comme on fait ordinairement tourner les vis, & sur-tout celles qui sont grosses, avec des leviers ou avec quelque chose d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle menoit immédiatement la vis ; ce n'est plus *a c* qui exprime sa vîtesse, c'est la circonférence d'un cercle dont le levier *D E* est le demi-diamétre. On peut donc

établir en général que dans l'usage des vis, si l'on n'a point égard aux frottemens, *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la hauteur du pas* b c, *est à la circonférence que décrit l'extrémité* E *du levier par lequel on agit*, c'est-à-dire, *en raison réciproque des vîtesses*.

IX. LEÇON.

Selon la matiere dont on fait les vis, & les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes aux filets; le plus souvent ils sont angulaires, comme dans la *Fig.* 10, ou quarrés comme dans la *Figure* 11. Ceux-ci se pratiquent ordinairement aux grosses vis de métal qui servent aux presses & aux étaux, parce qu'elles en ont moins de frottemens. On fait aux vis de bois des filets angulaires pour leur conserver de la force; car par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte: on donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, je veux dire, ces petites vis de fer qui finissent en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois; on doit les considérer, de même que les *mêches* des vrilles & des tarieres,

IX. LEÇON.

comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant mieux qu'il est plus aigu.

Parmi un grand nombre de machines dont la partie principale est une vis, il en est deux qui tiennent un rang distingué; l'une est cette fameuse vis qui porte depuis près de deux mille ans le nom d'Archimédes son Auteur, & qui peut, dans bien des occasions, s'appliquer fort utilement à élever les eaux; l'autre est la *vis sans fin*, ainsi nommée, parce que son action est continue du même sens, au contraire des vis ordinaires, qui se meuvent dans un écrou, & qui cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur.

La vis d'Archimédes est composée d'un cylindre incliné à l'horizon, qui tourne sur deux pivots *A*, *B*, *Fig.* 12. & d'un canal ou tuyau qui l'enveloppe en forme d'hélice. Un corps grave placé à l'embouchure *C* du canal, tombe par son propre poids en *d*: lorsqu'on fait tourner la vis, le point *d* du tuyau passe au point *e*, & le mobile que son poids retient toujours à l'endroit le plus bas, se trouve dans

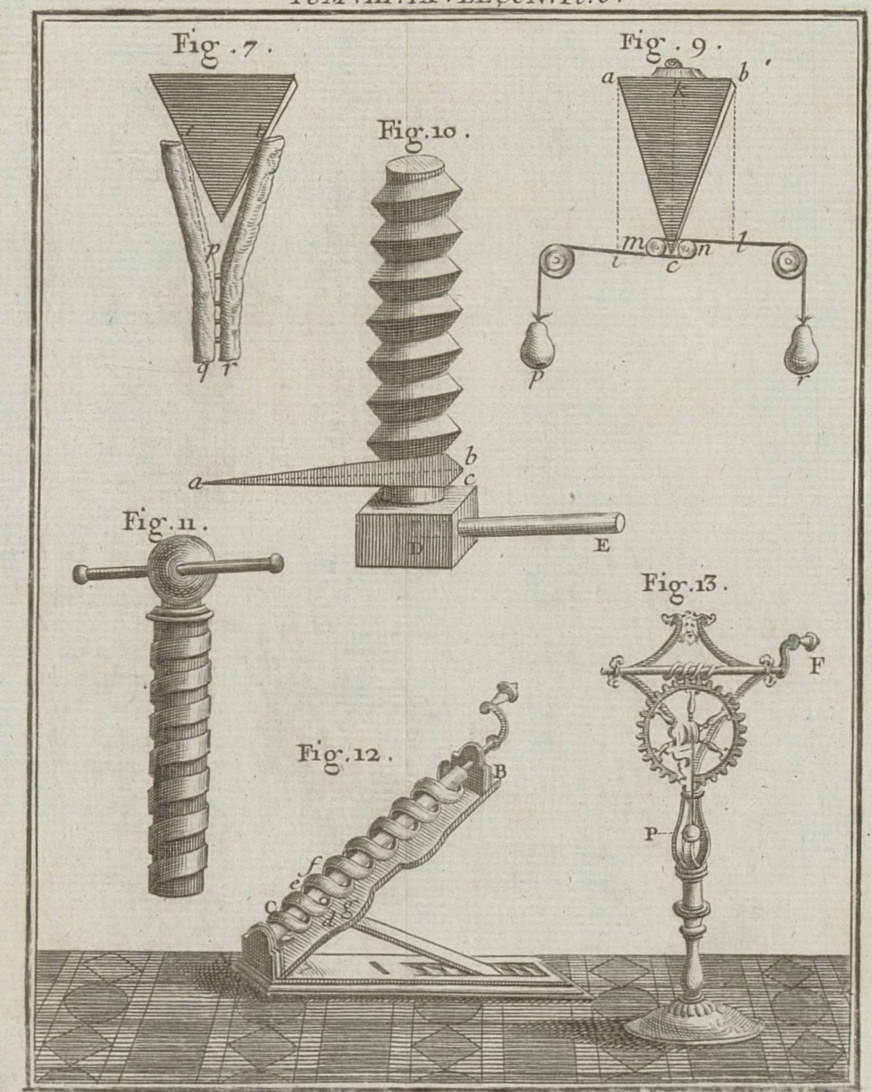
le canal au point *f* qui a fait un demi-tour, & qui est venu en g. En continuant ainsi, on lui fait parcourir toute la longueur de la vis de bas en haut; de sorte que par le moyen de cette ingénieuse machine, un corps monte en vertu de la même force qui le fait descendre. Si la partie inférieure de cette vis est plongée dans l'eau, on conçoit facilement que ce canal doit s'emplir à mesure qu'il tourne, & procurer un écoulement par la partie d'en haut.

Comme cette machine se meut sur deux pivots, une force peu considérable peut la faire tourner, pourvû qu'elle soit bien en équilibre avec elle-même; mais on ne peut gueres s'en servir que pour élever l'eau à une hauteur médiocre, comme lorsqu'il s'agit de dessécher un terrein; parce que cette vis étant nécessairement inclinée, ne peut porter l'eau à une grande élévation, sans devenir elle-même fort longue, & par-là très-pesante, & sans courir les risques de se courber & de perdre son équilibre.

Ce que l'on nomme ordinairement, *Vis sans fin*, est une machine compo-

IX. Leçon. ſée d'une vis dont le cylindre ou noyau tourne toûjours du même ſens ſur des pivots qui terminent ſes deux extrémités ; les filets de cette vis, qui ſont le plus ſouvent quarrés, menent en tournant une roue verticale dont ils engrennent les dents. Cette roue porte à ſon centre un rouleau avec une corde à laquelle on attache le fardeau qu'on veut élever, de la même maniere qu'au treuil. *Voyez la Figure* 13.

Par le moyen de cette machine, on peut vaincre avec très-peu de force une très-grande réſiſtance : mais cet avantage coûte bien du tems ; car il faut que la vis faſſe un tour entier pour faire paſſer une dent de la roue, & il faut que toutes les dents paſſent, pour faire tourner une fois le rouleau ; de ſorte que ſi le nombre des dents eſt 100, & que le diamétre du rouleau ſoit de 4 pouces, pour élever la réſiſtance *P* à la hauteur d'un pied, il faut que la puiſſance *F* faſſe tourner 100 fois la manivelle ; mais il y a bien des occaſions où cette lenteur eſt le principal objet qu'on ſe propoſe, comme lorſqu'il s'agit de modérer le


Fig . 7 .
p
q r
Fig. 10 .
a
b
c
D
E
Fig . 9 .
a
b
k
m
n
l
i
c
p
r
Fig. 11 .
Fig. 12 .
B
f
e
C
g
d
Fig. 13 .
F
P

mouvement d'un rouage, ou bien de faire avancer ou reculer un corps d'une très-petite quantité qu'il importe de connoître.

IX. LEÇON.

Dans cette ſection, comme dans la précédente, j'ai toujours fait abſtraction des frottemens, pour n'avoir égard qu'aux effets qui naiſſent de chaque machine conſidérée en elle-même; il eſt bon d'avertir cependant que dans l'uſage des vis & du coin, il arrive ſouvent que l'effet principal vient des frottemens, & que ſi dans la pratique on négligeoit d'avoir égard à cette eſpece de réſiſtance, il y auroit bien peu de cas où les forces oppoſées puſſent ſe comparer avec quelque juſteſſe : deux exemples juſtifieront cette remarque. Lorſqu'avec un effort équivalent à 100 livres on a chaſſé un coin entre les deux parties d'une bûche entr'ouverte, la réaction ou le reſſort du bois qui s'oppoſe à l'effort de la puiſſance, ſubſiſte toujours quoiqu'on ceſſe d'agir contre; pourquoi donc le coin ne revient-il point de lui-même, quand il n'eſt point fort obtus ? c'eſt qu'il oppoſe alors à la preſſion du bois qui le ſol-

IX LEÇON. licite à reculer, le frottement de sa surface qui égale ou qui surpasse même la force qui l'a fait entrer. Quand on a serré les deux mâchoires d'un étau avec la vis, au moment que l'on cesse de la faire tourner, la résistance est en équilibre avec la puissance : sans le frottement de la vis dans son écrou, la moindre force devroit écarter les mâchoires qui ont été serrées ; cependant les plus grands efforts ne le font pas ; & c'est en quoi consiste le principal avantage de cet outil.

III. SECTION.

Des Cordes.

LES cordes sont des corps longs & flexibles, quelquefois simples, mais le plus souvent composés de plusieurs fibres ou fils de matiere animale, végétale ou minérale. Les chaînes mêmes, par rapport à l'emploi qu'on en fait dans les machines, doivent être considérées comme des cordes ; car quoique leur structure soit tout-à-fait différente, elles ont les qualités es-

sentielles des cordes, la longueur & la flexibilité qui les rendent propres aux mêmes usages.

En méchanique, on employe communément les cordes : 1°. pour changer la direction du mouvement, comme lorsqu'avec une poulie on fait monter un poids par l'effort d'un autre qui descend : 2°. pour transporter la puissance ou la résistance dans un lieu plus avantageux ou plus commode ; c'est par le moyen d'une corde, par exemple, qu'un cheval placé sur le rivage tire un bateau qu'il ne pourroit presque jamais faire mouvoir autrement : 3°. pour lier, serrer, arrêter d'une maniere simple & facile toutes sortes de mobiles qui tendent d'eux-mêmes à se désunir, ou qu'une force extérieure sollicite à s'écarter ou à se déplacer.

Les cordes par elles-mêmes ne peuvent ni augmenter ni diminuer l'intensité des forces qui agissent contr'elles, ou contre lesquelles on les fait agir ; que la corde avec laquelle on sonne une cloche ait 15 brasses, ou qu'elle n'en ait qu'une ou deux, le sonneur n'en a ni plus ni moins

IX. LEÇON.

d'effort à faire; la force d'un cheval est la même lorsqu'il tire avec un gros ou avec un petit trait : mais parce qu'une corde est plus grosse ou plus longue, elle est plus pesante; elle se courbe, lorsqu'elle n'agit pas dans une direction verticale, & elle est moins flexible; or le poids, la courbure & la roideur des cordes sont des résistances ou des désavantages qui exigent un plus grand effort de la part de la puissance, & sur lesquels il est nécessaire de compter dans la pratique.

En parlant des puits où l'on tire l'eau par le moyen de deux seaux qui montent & descendent alternativement, nous avons déja observé que la corde, dans les temps où elle est plus longue d'un côté que de l'autre, augmente la charge, & que cette augmentation devient considérable, lorsque la profondeur du puits ou du souterrein est grande : on peut dire la même chose des fardeaux que l'on traîne; les cordes ou les chaînes dont on se sert augmentent de leur propre poids la charge sur laquelle on agit.

La résistance qui vient de la pesanteur des cordes croît comme leur so-

lidité ou quantité de matiere ; en les considérant comme des cylindres, on doit donc, à longueurs égales, estimer la différence de leur poids par le quarré du diamétre. Si, par exemple, à la place d'une corde qui pése 30 livres, ayant un pouce de diamétre, on en met une autre de même longueur & de même nature qui soit deux fois aussi grosse, celle-ci pésera 120 livres, c'est-à-dire ; quatre fois autant que la premiere, parce que son diamétre est double.

Non-seulement le poids de la corde augmente la somme des résistances dans l'usage des machines ; mais il arrive encore assez souvent qu'en la faisant courber, il fait prendre à la puissance une direction moins avantageuse que celle qu'elle auroit si la corde se tenoit parfaitement droite. Lorsqu'on tire un fardeau sur un plan incliné, nous avons fait voir que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsqu'il est dirigé parallélement au plan, comme *A B*, *Fig.* 1. Mais il y a bien des occasions où la corde, devenant courbe comme *AEB*, à cause de sa longueur & de

son poids, incline l'action de la puissance au plan, & l'affoiblit d'autant.

La longueur seule de la corde, indépendamment du poids, peut apporter quelque changement à la direction de la puissance. Car si elle fait un angle avec le terrein, eu égard à l'élévation de la puissance, elle le fait d'autant plus grand qu'elle est moins longue : quoique les deux lignes *AC*, *AD*, * ne soient ni l'une ni l'autre paralléles au plan *FG*; cependant la premiere s'écarte davantage du parallélisme que la derniere : ainsi toutes les fois qu'une force motrice sera appliquée à une résistance, par le moyen d'une corde ou d'une chaîne, il ne faut point avoir égard à sa direction, ou à sa tendance naturelle, mais à celle qui est indiquée par la chaîne ou par la corde qui transmet son effort.

* Fig. 5.

La roideur des cordes, lorsqu'elles ont part au mouvement des machines, est ce qu'il y a de plus important à connoître : elle dépend principalement du poids ou de la force qui tend les cordes, de leur grosseur, de la quantité dont on les courbe,

& de la vîteſſe avec laquelle on les fait plier. M. Amontons * eſt le premier qui ait traité méthodiquement, cette partie des méchaniques, dont on n'avoit avant lui qu'une idée confuſe. Il en a montré l'importance, en faiſant connoître que dans les cas les plus ordinaires la roideur ſeule des cordes peut augmenter d'un tiers la réſiſtance, ſur laquelle on doit faire agir la force motrice; & il nous apprend d'après l'expérience, 1° : Que la réſiſtance cauſée par la roideur des cordes, augmente en raiſon directe des poids ou des forces qui les tiennent tendues: 2°; Que cette même réſiſtance augmente encore comme le diamétre des cordes, toutes choſes égales d'ailleurs: 3°; Que les cordes ſe plient plus difficilement à meſure que les cylindres ou les poulies ſur leſquels on les fait touner, deviennent plus petits, quoique cette derniere réſiſtance n'augmente pas en raiſon directe du décroiſſement des diamétres.

* Mem. de l'Acad. des Scienc. 1699. p. 217.

❋

IX. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

On attache au plancher d'une chambre, ou à quelqu'autre appui ſolide, deux cordes ſemblables, *A*, *B*, *Fig.* 2. qui pendent parallélement à 5 ou 6 pouces de diſtance l'une de l'autre, & qui ſoutiennent une tablette *CD*, ſur laquelle on poſe des poids.

Ces deux cordes font dans le même ſens chacune un tour ſur un cylindre *EF*, & au milieu on enveloppe en ſens contraire un ruban ou un fil au bout duquel on attache un baſſin de balance que l'on charge juſqu'à ce qu'il commence à faire rouler le cylindre de haut en bas, comme on le peut voir par la *Fig.* 3. On employe dans ces expériences pluſieurs paires de cordes, qui ſont toutes de même matiere, & dont les diamétres ſont différens, & faciles à comparer : le cylindre doit toujours être du même poids, quoiqu'on varie ſa groſſeur ; & afin que le ruban ou fil qui pend en *f*, ſoit toujours à la même diſtance du point *e* *, on diminue le cylindre en

* *Fig.* 3.

en ſon milieu ; ou bien en évaluant l'effort du poids qui eſt ſuſpendu au ruban ou fil, on tient compte de la diſtance du point *f* au point *e*, ſi elle eſt augmentée. IX. LEÇON.

Dans cette premiere expérience, le diamétre des cordes eſt de trois lignes, celui du cylindre, d'un $\frac{1}{2}$ pouce, & l'on charge d'abord la tablette *C D* de 30 livres, & enſuite de 40 liv.

EFFETS.

1°. Lorſque les cordes ſont tendues par un poids de 20 livres, il faut que le poids *G* ſoit de 45 onces, pour commencer à faire deſcendre le cylindre : 2°. Lorſque l'on tend les cordes avec un poids de 40 liv. le cylindre n'obéit qu'à l'effort de 90 onces.

EXPLICATIONS.

Le cylindre par ſon propre poids, ou par celui qui agit en *f*, tend à deſcendre : ſi quelque choſe le retient, ce ne peut être que la corde qui l'enveloppe de part & d'autre ; car ſans cet obſtacle, on conçoit bien qu'il tomberoit : mais cet obſtacle n'en ſeroit point un, ſi la corde avoit une

IX. Leçon.

flexibilité parfaite, si elle se plioit sans aucune difficulté ; car alors toutes ses parties s'envelopperoient successivement sur le cylindre, & le laisseroient librement passer de l'endroit le plus haut à l'endroit le plus bas : toute la résistance qui céde premiérement à 45 onces, vient donc de la roideur des cordes qui sont tendues par le poids *CD* ; & puisque cette roideur ne peut être vaincue que par 90 onces, quand le poids qui la fait naître, augmente de 20 à 40, c'est une preuve qu'elle croît, comme nous l'avons dit, en raison directe des forces qui tendent les cordes ; car 45 sont à 90, comme 20 sont à 40.

II. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

On employe d'abord une paire de cordes, dont le diametre est de deux lignes ; elles sont tendues par un poids de 20 livres, & elles enveloppent un cylindre qui a un demi-pouce de diamétre.

Ensuite on fait servir une autre paire de cordes une fois plus menues

que les précédentes, à qui l'on donne le même degré de tenſion, & que l'on fait tourner ſur le même cylindre.

Effets.

Dans le premier cas il faut 30 onces pour vaincre la roideur des cordes; dans le ſecond il n'en faut que 15.

Explications.

Quand la corde ſe courbe, ſon diamétre perpendiculaire à la ſurface du cylindre qu'elle enveloppe, doit être conſidéré comme un levier qui a ſon point d'appui au cylindre même; plus ce diamétre eſt grand, plus la puiſſance ou le poids qui tend la corde, eſt éloigné de ce point d'appui, & par conſéquent plus il réſiſte au poids du cylindre, ou à celui qu'il ſoutient en *g* *. Ou bien l'on peut conſidérer le diamétre de la corde & celui du cylindre, comme ne faiſant qu'un même levier, dont le centre du mouvement eſt en *e*; on voit facilement que ſi le bras *e f* reſtant le même, *e h* devient plus long, la puiſ-

* *Fig.* 3.

IX. LEÇON.

ſance qui agit en *L* en aura d'autant plus de force pour vaincre celle qui péſe en *g*. En conſidérant ainſi la roideur qui vient de la groſſeur des cordes, on voit tout d'un coup pourquoi lorſqu'on double leur diamétre, il faut auſſi doubler le poids qui tend à faire deſcendre le cylindre. On voit de même pourquoi cette eſpece de réſiſtance ne croît pas en raiſon de la ſolidité des cordes, comme on le pourroit croire, mais ſeulement en raiſon des diamétres, comme nous l'avons établi dans notre propoſition.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LES cordes étant de trois lignes de diamétre, & tendues par un poids de 60 livres, on employe d'abord un cylindre d'un pouce, & enſuite un autre d'un $\frac{1}{2}$ pouce de diamétre.

EFFETS.

La roideur des cordes avec le premier cylindre céde à 114 onces, & avec le ſecond à 135.

EXPLICATIONS.

IX. LEÇON.

Les cordes & les poids qui les tiennent tendues restant les mêmes, leur roideur ne peut varier que par le diamétre du cylindre qu'elles enveloppent. Quand ce cylindre est plus petit, la corde est obligée de se courber davantage ; or puisque cette courbure en général est un obstacle à la descente du cylindre, comme nous l'avons fait voir par la premiere expérience, une plus grande courbure doit augmenter la résistance. On pourroit être tenté de croire, que le diamétre du cylindre une fois plus petit, devroit rendre la même corde une fois plus roide : mais l'expérience fait voir que ce rapport n'a pas lieu dans tous les cas ; car 135 onces, à beaucoup près, n'égalent pas deux fois 114, comme le premier cylindre égale deux fois le second, par la grandeur de son diamétre.

APPLICATIONS.

Ce que nous avons prouvé par les expériences précédentes doit servir de régle dans l'usage des poulies, des

treuils, des cabeſtans, &c. toutes ces machines ne peuvent s'employer qu'avec des cordes, ou pour parler plus exactement, les cordes en ſont une partie eſſentielle; ſi l'on négligeoit de compter ſur leur roideur, on tomberoit infailliblement dans des erreurs conſidérables,, & le mécompte ſe trouveroit principalement dans les cas où il eſt le plus important de ne ſe point tromper, je veux dire dans les grands effets; car alors les cordes ſont néceſſairement groſſes & fort tendues.

On doit donc avoir ſoin, 1°. de préférer les grandes poulies aux petites, ſi la place le permet, non-ſeulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe a moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent, & qu'elles font mouvoir, y ſouffrent une moindre courbure, & leur oppoſent par conſéquent moins de réſiſtance; cette conſidération eſt d'une ſi grande conſéquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, ſelon la régle de M. Amontons *, on voit clairement que ſi l'on vouloit enlever un fardeau de

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 199. pag. 22.

800 livres avec une corde de 20 lignes de diamétre, & une poulie qui n'eût que trois pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres pour vaincre la roideur de la corde; au lieu qu'avec une poulie de 2 pieds de diamétre, cette espece de résistance céderoit à un effort de 22 liv. toutes choses égales d'ailleurs.

On peut juger de-là que les poulies mouflées ne peuvent jamais avoir tout l'effet qui devroit résulter du nombre & de la disposition des leviers qu'elles représentent; car dans ces sortes de machines les cordes ont plusieurs retours, & quoique les puissances qui les tendent, chargent d'autant moins les axes, que les poulies sont plus nombreuses, cependant, parce qu'il n'y a point de corde dont la flexibilité soit parfaite, en multipliant les courbures, on augmente nécessairement la résistance qui vient de leur roideur.

Cet inconvénient qui est commun à toutes les moufles, est encore plus considérable dans celles où les poulies rangées les unes au-dessus des autres, doivent être de plus en plus petites,

IX. LEÇON.

pour donner lieu à la corde de ſe mouvoir ſans ſe toucher & ſe frotter. Car nous avons fait voir par la troiſiéme expérience, que la corde a plus de peine à ſe plier, quand elle enveloppe un cylindre d'un plus petit diamétre : les poulies mouflées qui ſont toutes de même grandeur, ſont donc préférables dans les cas où la raiſon que nous venons d'expoſer, n'eſt point combattue par d'autres plus fortes.

Les perſonnes qui ſont dans l'habitude de tourner, ſoit au pied, ſoit à l'archet, ſavent, par leur propre expérience, combien il eſt néceſſaire de proportionner la groſſeur de la corde à celle de la piece qu'on fait tourner : ſi l'on n'a point cette attention, on ne peut jamais exécuter aucun ouvrage délicat entre deux pointes, parce que l'effort qu'il faut faire pour vaincre la roideur de la corde, porte ſur la piece qu'on fait tourner ; cette piece ne peut le ſoutenir qu'autant qu'elle eſt forte de matiere : & rien ne marque mieux combien une corde trop groſſe a de peine à ſe mouvoir, que le peu de temps qu'elle met

à s'échauffer & à s'user, quand elle enveloppe une partie fort menue.

IX. LEÇON.

LES cordes que l'on employe dans les machines destinées à faire de grands efforts, doivent être durables, parce qu'elles ne se font & ne se réparent qu'à grands frais : elles doivent être capables aussi d'une grande résistance, sans quoi elles deviendroient inutiles, ou elles occasionneroient des accidens fâcheux. Mais ces deux qualités sont difficiles à concilier avec une grande flexibilité, parce qu'elles ne peuvent gueres s'acquerir que par une grosseur considérable, & par quelque préparation qui donne nécessairement de la roideur. Les cables qu'on employe dans les bâtimens, & mieux encore ceux qui servent dans la navigation, seroient d'un usage bien plus avantageux & plus commode, si l'on pouvoit trouver quelque moyen de les rendre plus légers & plus flexibles, sans leur ôter la force qui leur est nécessaire, & sans les rendre moins durables ; le choix des matieres, la façon de les préparer & de les mettre en œuvre, doivent sans doute contribuer beaucoup à cet effet ; mais une

IX. LEÇON.

attention qu'on néglige un peu trop, & qu'on devroit avoir cependant, c'eſt de proportionner les cordes aux efforts qu'elles ont à ſoutenir, de les choiſir aſſez fortes pour ne point manquer; mais de ne rien faire de ſuperflu à cet égard, parce que cette force ſurabondante ne va point ordinairement ſans une augmentation de poids, de roideur, & de frais qu'il eſt toujours utile d'épargner.

La fabrique des cordes a été preſque entiérement abandonnée juſqu'ici à des ouvriers peu intelligens pour la plûpart, qui n'y travaillent que par routine, & qui ſe contentent de répéter ſervilement ce que d'autres ont fait avant eux: cet objet cependant eſt d'une aſſez grande importance, pour mériter l'attention des ſavans, & l'on ne peut être que très-ſatisfait de voir qu'il occupe quelques-uns de ceux qui refuſent leur temps à des ſpéculations ſublimes, aſſez ſouvent inutiles, pour le donner à des choſes qui tendent plus directement au bien-être de la ſociété. M. Duhamel du Monceau, pour remplir une partie des vues que les devoirs de ſa pla-

ce * lui ont fait naître, nous a donné un ouvrage qui contient l'art de la Corderie, fondé sur un grand nombre d'expériences qu'on lui a vû faire dans nos Ports. Ce n'est pas seulement une histoire ou une description de ce qu'on a coutume de pratiquer dans les atteliers où l'on fabrique des cordes, mais un recueil d'instructions nouvelles & utiles qui pourront procurer à cet Art la perfection dont il a besoin.

* *Inspecteur général de la Marine.*

APRE'S avoir parlé de la roideur des cordes, & de la maniere dont on peut estimer la résistance qui en résulte dans les machines, il nous reste à dire quelque chose de leur force, & des changemens dont elles sont susceptibles, lorsqu'elles deviennent alternativement seches & humides.

Les cordes qui sont le plus en usage dans la méchanique, celles dont il s'agit principalement ici, sont des assemblages de fibres que l'on tire des végétaux comme le chanvre, ou du regne animal, comme la soie ou certains boyaux ou nerfs que l'on met en état d'être filés. Si ces fibres étoient assez longues par elles-mêmes, peut-

IX. LEÇON.

être se contenteroit-on de les mettre ensemble, de les lier en forme de faisceaux sous une enveloppe commune ; cette maniere de composer les cordes, eût peut-être paru la plus simple, & la plus propre à leur conserver cette qualité qui est la plus nécessaire, la fléxibilité : mais comme toutes ces matieres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'est-à-dire, en les tortillant ensemble, de maniere que les unes s'unissant en partie aux autres, sont embrassées & retenues de même par celles qui suivent ; le frottement qui naît de cette sorte d'union est si considérable, qu'elles se cassent plutôt que de glisser l'une sur l'autre selon leur longueur : c'est ainsi que se forment les premiers fils dont l'assemblage fait un cordon, & de plusieurs de ces cordons réunis & tortillés ensemble on compose les plus grosses cordes.

On juge aisément que la qualité des matieres contribue beaucoup à la force des cordes ; on conçoit bien aussi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire

une corde plus difficile à rompre, comme une plus grande quantité de fils forme un cordon d'une plus grande résistance : mais quelle est la maniere la plus avantageuse d'unir les fils ou les cordons ? le tortillement par lequel on a coutume de lier ces assemblages, donne-t-il plus de force aux cordes qu'elles n'en auroient, si les parties qui les composent étoient seulement réunies en forme de faisceaux ? c'est ce qui ne s'apperçoit pas aussi facilement ; si l'on en croyoit le préjugé, il semble qu'on décideroit en faveur du tortillement, parce que cette façon fait naître une union plus intime entre les parties composantes, & que la force du composé semble dépendre de cette union.

Il y a même des raisons spécieuses qui ont porté plusieurs Savans à juger comme le vulgaire à cet égard : on sait en général que la force d'un corps dépend de sa solidité, de sa grosseur ; le tortillement rend une corde plus grosse qu'elle ne le seroit, si ses fils ou cordons n'étoient qu'assemblés à côté les uns des autres ; car c'est un fait certain, qu'en tortillant ensemble cinq ou

six fils, on rend cet assemblage plus court & plus gros ; il semble donc que cette grosseur acquise aux dépens de la longueur, devroit faire un corps plus difficile à rompre.

D'ailleurs le tortillement fait prendre aux fils une direction qui est oblique à la longueur de la corde qu'ils composent ; & comme l'effort d'une corde se fait sur sa longueur, il s'ensuit que la force qui la tient tendue, n'agit qu'obliquement sur les fils, & que par conséquent ils en sont plus en état de résister ; car une action oblique a moins d'effet qu'un effort qui se fait directement.

Malgré ces vraisemblances, l'expérience a décidé que cette façon que l'on donne aux cordes, commode & avantageuse à d'autres égards, les affoiblit plutôt qu'elle n'augmente leur force. C'est ce qui paroît d'une maniere bien décisive, par un mémoire fort curieux de M. de Reaumur*, où cette matiere paroît avoir été traitée pour la premiere fois, & d'où j'ai tiré les preuves que je vais rapporter.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc* 1711. p. 6.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On choiſit un écheveau de fil à coudre, le plus égal qu'il eſt poſſible, on le diviſe en pluſieurs bouts dont on éprouve la force en y ſuſpendant des poids connus juſqu'à ce que les fils rompent. Lorſqu'on eſt aſſuré de ce qu'ils peuvent porter ſéparément ſans ſe caſſer, on en tortille enſemble 2, 3, ou 4, &c. pour en faire une petite corde à laquelle on ſuſpend pareillement des poids, pour ſavoir combien elle eſt en état d'en ſoutenir. Voyez la *Figure* 4.

EFFETS.

Les fils tortillés, en quelque nombre que ce ſoit, ne portent jamais un poids qui égale la ſomme de ceux qu'ils portoient ſéparément.

EXPLICATIONS.

Si le fil de notre expérience, employé ſimple, a une force équivalente à 6 livres, deux de ces fils *C*, *D*, porteront ſans doute la ſomme

IX. LEÇON.

de 12 livres ; mais il faut pour cet effet, que l'effort ſoit partagé également à l'un & à l'autre, que chacun des deux n'ait à porter que la moitié de la ſomme totale, c'eſt-à-dire, 6 livres.

Pour faire mieux ſentir la néceſſité de cette condition, imaginons que les deux poids de 6 livres *E*, *F* *, ſoient joints enſemble, & de maniere que de cette ſnmme de 12 livres, les deux tiers portent ſur le fil *D*, & l'autre tiers ſur *C* : le premier de ces fils caſſera d'abord, parce que, ſuivant notre ſuppoſition, il ne peut porter que 6 livres, & non pas 8. Mais auſſi-tôt qu'il ſera rompu par cet effort exceſſif, l'autre ſe rompra auſſi ; parce qu'il ſe trouvera chargé ſeul de tout le poids, dont il ne pourroit porter que la moitié. Ainſi quoique chacun de ces fils puiſſe réſiſter à un effort de 6 livres, l'un & l'autre enſemble ne peuvent ſoutenir 12 livres, à moins qu'ils ne ſoient également chargés. Mais lorſque les deux fils ſont tortillés enſemble il arrive infailliblement que l'un des deux l'eſt plus que l'autre,

* *Fig.* 4.

&

& que l'effort du poids eſt inégalement partagé entr'eux ; de-là il arrive qu'ils ne peuvent jamais ſoutenir enſemble les 12 livres qu'ils auroient porté ſéparément. IX. Leçon.

Une autre raiſon de cet effet, c'eſt qu'en tortillant ainſi les fils, on les tend ; & cette tenſion tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent ſoutenir. Ils ne ſont donc plus en état de réſiſter autant qu'ils auroient pû faire avant que d'être tortillés.

Applications.

Les cables & autres gros cordages qu'on employe, ſoit ſur les vaiſſeaux, ſoit dans les bâtimens, étant toujours compoſés de pluſieurs cordons, & ceux-ci d'une certaine quantité de fils unis enſemble, comme ceux de notre derniere expérience ; il eſt évident qu'on n'en doit point attendre toute la réſiſtance dont ils ſeroient capables, s'ils ne perdoient rien de leur force par le tortillement ; & cette conſidération eſt d'autant plus importante, que de cette réſiſtance dépend ſouvent la vie d'un grand nombre d'hommes.

IX. LEÇON.

Mais ſi le tortillement des fils en général rend les cordes plus foibles, comme nous l'avons fait voir, on les affoiblit d'autant plus, qu'on les tord davantage; & c'eſt une attention qu'on doit faire valoir, ſur-tout dans les fabriques établies pour le ſervice de la Marine, de ne tordre qu'autant qu'il eſt néceſſaire pour lier les parties par un frottement ſuffiſant. Il ſeroit bien à ſouhaiter qu'on eût ſur cela une regle à preſcrire aux ouvriers, & qu'on pût compter ſur leur docilité, & ſur leurs ſoins pour l'obſerver.

Lorſqu'on a quelque grand effort à faire avec pluſieurs cordes en même temps, ce qui empêche aſſez ſouvent de réuſſir, c'eſt qu'on ne les fait point tirer également; & alors elles caſſent les unes après les autres, par les raiſons que nous avons dites ci-deſſus, & mettent en riſque ceux qui les ont employées. Le tirage égal des cordes qui concourent à un même effort, n'eſt pas toujours auſſi facile qu'il eſt néceſſaire à obtenir; c'eſt un de ces cas aſſez ordinaires en méchanique, où le ſuccès dépend preſ-

que autant de l'adresse & de l'intelligence de celui qui opere, que des forces qu'il fait agir.

IX. Leçon.

QUANT aux changemens qui peuvent arriver aux cordes, par la sécheresse ou par l'humidité, ils dépendent principalement de la matiere & de la façon dont elles sont faites : je ne m'arrêterai ici qu'aux plus remarquables, & à ceux qui sont de quelque importance dans l'usage des machines.

Toutes les cordes qui sont composées de plusieurs fibres, filets ou cordons que l'on a tortillés ensemble, se gonflent & deviennent plus grosses lorsque l'eau les pénétre ; & au contraire à mesure qu'elles se séchent, elles diminuent un peu de grosseur ; mais en devenant plus grosses, elles perdent une partie de leur longueur, & elles se détordent un peu ; ce sont deux faits connus depuis long-temps, & que j'ai souvent constatés par l'expérience suivante.



IX. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

J'ATTACHE au plancher, ou à quelqu'autre endroit fixe, des cordes de chanvre, de boyaux, &c. aux bouts desquelles je suspends des poids *H*, *K*, *Fig.* 5. assez forts seulement pour les tenir tendues, & qui finissent en pointe au-dessus & fort près de la tablette *IL*; au bout de chacune des cordes, immédiatement au-dessus du poids, je place un petit index de carton, g, ou *h*, qui fait un angle droit avec la corde que je mouille ensuite d'un bout à l'autre, par le moyen d'une éponge, ou autrement.

EFFETS.

On remarque 1^ment^, que les cordes s'accourcissent, parce que les poids qui les tiennent tendues, s'élevent un peu au-dessus de la tablette: 2^ment^, qu'elles se détordent, par le mouvement de l'index qui tourne peu-à-peu de droite à gauche

EXPLICATIONS.

L'eau s'introduit dans une corde, comme elle entre dans tous les corps poreux; elle en écarte les parties, & par cette raiſon la corde mouillée devient plus groſſe. Mais les parties d'une corde ſont des fibres qui ſe croiſent un grand nombre de fois par le tortillement, & qui ne peuvent s'écarter l'une de l'autre, ſans former un ventre, & ſans que les extrémités ſe rapprochent: de-là vient le raccourciſſement de toute la corde. Les particules d'eau qui ouvrent les petits interſtices qui ſont entre les fibres, dilatent auſſi ceux qui ſe trouvent entre les cordons, & cette dilatation fait que la corde devient un peu moins torſe.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'eſt que ces effets ont lieu, nonobſtant les poids qui tiennent les cordes tendues, & ces poids peuvent être aſſez conſidérables; c'eſt un des exemples qu'on peut citer pour faire voir que de très-petites forces multipliées ſont capables de produire de grands efforts. Une expérience qui

IX. LEÇON.

est assez curieuse par elle-même, & que je vais rapporter, apprendra comment un fluide qui s'introduit dans une corde, peut la rendre plus courte en la grossissant, quoiqu'une puissance considérable s'oppose à cet effet.

VI. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *C*, *Fig.* 6. sont des vessies qui communiquent ensemble par des petits bouts de tuyaux qui servent à les joindre: *D* est un poids de 30 liv. qui repose sur le pied de la machine, quand les vessies sont vuides.

EFFETS.

Quand on souffle de l'air dans les vessies, par le tuyau qu'on voit en *E*, elles s'enflent, & le poids s'éleve de plusieurs pouces.

EXPLICATIONS.

L'air qui s'introduit dans les vessies les dilate; mais les parois *A A*, *B B*, *C C*, ne peuvent s'écarter l'une de l'autre que les extrémités de cha-

que vessie ne se rapprochent, & que tout l'assemblage par conséquent ne devienne plus court, & n'oblige le poids à s'élever. IX. LEÇON.

Pour concevoir comment on peut élever par un simple souffle un poids aussi considérable, il faut faire attention que tout son effort se partage également à toute la surface des vessies; l'orifice du canal *E e*, n'occupe qu'une très-petite partie de cette surface : s'il n'en occupe qu'un $\frac{1}{1000}$, par exemple, la résistance qui s'oppose à son embouchure, & qu'il faut vaincre pour introduire l'air en soufflant, n'est donc que la $\frac{1}{1000}$ partie de 30 livres.

Les côtés *b A b*, *c A c*, * d'une de ces vessies représentent assez bien les fibres qui composent les cordes; comme l'air dilate les unes, l'humidité enfle les autres, & leur fait faire de grands efforts.

* Fig. 61.

APPLICATIONS.

CE qui arrive aux cordes que l'on mouille, se fait de même à l'égard des fils tords qu'on doit considérer comme de petites cordes, soit qu'on les employe simples, soit qu'on en for-

IX. LEÇON.

me des tiſſus. C'eſt pourquoi les toiles neuves ſe raccourciſſent au premier blanchiſſage ; & généralement on voit toutes les étoffes ſe retirer lorſqu'on les mouille : celles qui ſont fabriquées avec deux ſortes de fils placés en différens ſens, ſe retirent inégalement, & font prendre une mauvaiſe forme aux ouvrages auxquels on les fait ſervir. Les bas & les gands tricotés ne ſe mettent & ne peuvent s'ôter qu'avec peine lorſqu'ils ſont humides ; cette difficulté ne vient que du rétréciſſement cauſé par les particules d'eau qui ont gonflé les fils ; ſans cela, l'interpoſition d'un fluide ne ſerviroit qu'à les faire gliſſer plus aiſément ſur la peau.

Le moyen de raccourcir les cordes en les mouillant, pourroit être d'un grand ſecours en certains cas : on dit (& c'eſt une tradition aſſez reçue,) qu'en élevant un obéliſque à Rome ſous le Pontificat de Sixte V. l'entrepreneur ſe trouvant embarraſſé, parce que les cordes étoient un peu trop longues, quelqu'un cria : *Mouillez les cordes* ; & que cet expédient ayant été tenté, réuſſit parfaitement.

Pour

Pour vérifier ce fait, j'ai eu la curiosité de parcourir quelques ouvrages où l'on voit avec un grand détail, tout ce que Dominique Fontana fit par les ordres du Pape, depuis 1586 jusqu'à la fin de 1588, pour relever quatre anciens obélisques qui étoient ensevelis sous des ruines, savoir, celui du Vatican, qui fut placé devant l'Eglise de saint Pierre; un autre qui avoit servi au mausolée d'Auguste, & qui fut placé devant l'Eglise de S. Roch; deux autres enfin qui étoient du grand cirque, & dont l'un est aujourd'hui devant Saint Jean de Latran, & l'autre devant Sainte Marie du Peuple: dans toutes mes recherches, je n'ai pas vu un mot des cordes mouillées: je ne crois pas cependant que cette anecdote eût été omise dans ces descriptions, qui sont, à tous égards, très-circonstanciées: je croirois donc volontiers que le fait est apocryphe; mais sa possibilité n'est contestée de personne, & on la peut conclure des expériences que nous avons rapportées ci-dessus.

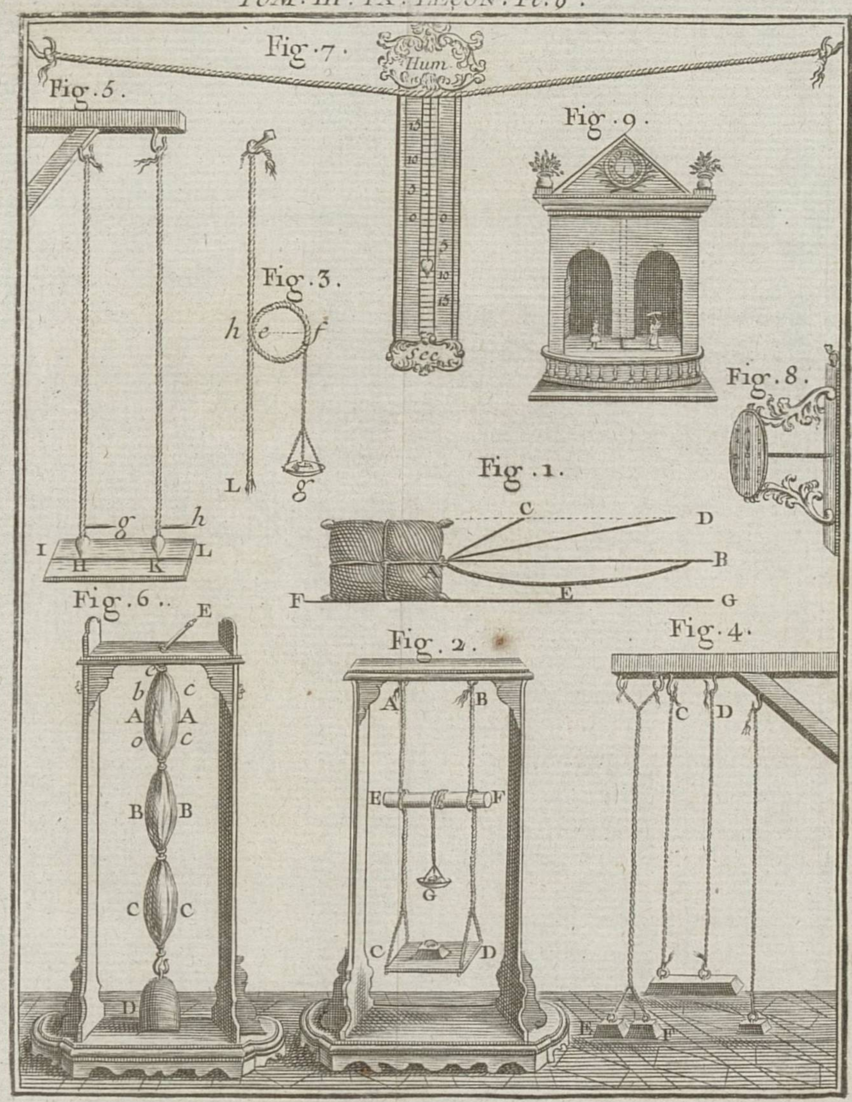
IX Leçon.

Il est à propos d'observer ici que les cordes mouillées ne peuvent vain-

IX. LEÇON.

cre de grandes résistances en se raccourcissant, qu'autant qu'elles sont faites de matieres peu susceptibles d'allongement par elles-mêmes, telles que sont les fibres des végétaux ou la soie: si l'on mouille des cordes de boyaux, quoiqu'elles tendent à se raccourcir par les raisons que nous avons dites, cependant on les allongeroit infailliblement en les tirant avec une certaine force, parce que les fibres qui les composent sont extensibles en toutes sortes de sens, & elles le sont d'autant plus alors, que l'humidité en les pénétrant, augmente leur souplesse.

Comme l'humidité & la sécheresse ont des effets sensibles sur les cordes, on a tâché d'en profiter pour connoître l'état de l'atmosphere à cet égard; ces instrumens qu'on nomme *Hygrométres*, & à qui l'on donne tant de formes différentes, consistent principalement en une corde de chanvre ou de boyaux qui marque en s'allongeant & en se raccourcissant, ou bien en se tordant & en se détordant, s'il regne dans l'air plus ou moins d'humidité. Le plus simple de tous se fait


Fig. 7.
Hum.
Sec.
Fig. 5.
Fig. 9.
Fig. 3.
h e f
g
L
Fig. 8.
Fig. 1.
C D
A B
E
F G
g h
I L
H K
Fig. 6.
E
b c
A A
o c
B B
C C
D
Fig. 2.
A B
E F
G
C D
Fig. 4.
C D
E F

avec une corde de 10 ou 12 pieds que l'on tend foiblement dans une ſituation horizontale & dans un endroit à couvert de la pluie, quoiqu'expoſé à l'air libre ; on attache au milieu un fil de laiton, au bout duquel on fait pendre un petit poids qui ſert d'index, & qui marque ſur une échelle diviſée en pouces & en lignes les degrés d'humidité en montant, & ceux de la ſécheresſe en deſcendant. *Voyez la Fig.* 7.

Aſſez ſouvent on fait des hygrométres avec un bout de corde de boyaux que l'on fixe d'un côté à quelque choſe de ſolide, & que l'on attache par l'autre, perpendiculairement à une petite traverſe qui tourne à meſure que la corde ſe tord ou ſe détord, & qui marque, comme une aiguille, ſur la circonférence d'un cadran, les degrés de ſécheresſe & d'humidité, *Fig.* 8. ou bien on place ſur les extrémités de la petite barre deux figures humaines de carton ou d'émail, dont l'une rentre & l'autre ſort d'une petite maiſon qui a deux portiques, lorſque le ſec ou l'humide fait tourner la corde; & l'on fait porter un petit parapluie à celle des deux figures que le

IX. LEÇON.

mouvement de la corde fait sortir lorsque l'humidité augmente. *Voyez la Fig. 9.*

Les hygrométres que l'on fait de cette façon ou d'une maniere équivalente, en cachant la corde pour y mettre un air de mystere, ne sont bons que pour amuser les enfans ; & l'on ne doit point s'attendre qu'ils apprennent quel est l'état actuel de l'atmosphere, par rapport à l'humidité & à la sécheresse, parce qu'on les garde dans des appartemens fermés, & que la corde, qui en est l'ame, est contenue comme dans un étui, où l'air ne se renouvelle que peu ou point.

Enfin le meilleur de ces instrumens n'apprend presque rien autre chose, sinon que la corde est mouillée, ou qu'elle est seche : car, 1°. l'humidité qui l'a une fois pénétrée n'en sort que peu-à-peu, & selon l'exposition du lieu, le calme ou le vent qui régne ; & bien souvent il arrive que l'atmosphere a déja perdu une grande partie de son humidité, avant que la corde en puisse donner aucun signe : 2°. Tout ce qu'on peut attendre d'un hygrométre à corde, c'est qu'il fasse

connoître s'il y a plus ou moins d'humidité dans l'air, par comparaiſon au jour précédent; & l'on ſait cela par tant d'autres ſignes, qu'il eſt aſſez inutile de faire une machine qui n'apprend rien de plus. Ce qu'il importeroit le plus de ſavoir, c'eſt de combien l'humidité ou la ſécheresſe augmente ou diminue d'un tems à l'autre, & de pouvoir rendre ces ſortes d'inſtrumens comparables; ſans cet avantage, que les hygrométres à cordes n'auront probablement jamais, ils ne méritent gueres qu'on les compte au nombre des inſtrumens météorologiques.





X. LEÇON.

Sur la nature & les propriétés de l'Air.

X. Leçon.

IL eſt peu de matieres dont la connoiſſance nous intéreſſe autant que celle de l'air : ce fluide, dans lequel nous ſommes plongés dès l'inſtant de notre naiſſance, & ſans lequel nous ne pouvons vivre, mérite ſans doute l'attention de tous les êtres penſans qui le reſpirent : ſon action continuelle ſur nos corps a beaucoup de part aux différens états qu'ils éprouvent ; nous avons ſans ceſſe quelque choſe à eſpérer ou à craindre des changemens dont il eſt ſuſceptible. C'eſt par les propriétés & par les influences de l'air, que la nature donne l'accroiſſement & la perfection à tout ce qu'elle fait naître pour nos beſoins & pour nos uſages : c'eſt par l'air qu'elle tranſporte & qu'elle diſtribue les ſources de la fécondité aux différentes parties de la

X. LEÇON.

terre. L'air agité eſt, pour ainſi dire, l'ame de la navigation : par le moyen du vent, des vaiſſeaux qu'on pourroit regarder comme autant de villes flottantes, paſſent d'un bord à l'autre de l'Océan ; & l'on voit tous les jours en commerce des nations qui ſembloient devoir s'ignorer perpétuellement, eu égard à la diſtance des lieux. Le ſon, la voix, la parole même ne ſont qu'un air frappé, un ſouffle modifié, qui devient le véhicule de nos penſées, & qui a le pouvoir d'exciter & de calmer les paſſions (*a*). Tant de merveilleux effets ne peuvent s'apprendre avec indifférence : l'eſprit qui eſt capable de les admirer, ne peut être inſenſible au plaiſir d'en connoître les cauſes.

En quelqu'endroit qu'on ſe tranſporte ſur la terre, ſoit qu'on change de climat, ſoit qu'on s'éleve des lieux les plus bas à la cime des plus hautes montagnes, on ſe trouve toujours dans l'air ; on ne connoît aucun lieu ni aucun temps où ce fluide ait

(a) *Ipſe aer nobiſcum videt, nobiſcum audit, nobiſcum ſonat ; nihil enim eorum ſine eo fieri poteſt.* Cic. de Nat. Deor. lib. 2. cap. 33.

manqué : cette considération nous autorise à croire que le globe que nous habitons est entouré d'air de toutes parts : & cette espece d'enveloppe que l'on nomme communément l'*Atmosphere*, a des fonctions si marquées, elle a tant de part au méchanisme de la nature, qu'on ne peut point douter qu'elle n'ait commencé avec la terre, & qu'elle ne doive durer autant qu'elle. X. LEÇON.

En qualité d'atmosphere terrestre, l'air a des propriétés qui ne lui appartiennent plus, lorsqu'on n'en considere qu'une petite portion, & que l'on fait abstraction de tout ce qui pourroit s'y mêler d'étranger. Comme ces propriétés ne sont, pour ainsi dire, qu'accidentelles, & qu'elles ne procédent pas directement de la nature de l'air, mais plutôt de sa quantité, de la figure de sa masse, de son mélange avec d'autres corps, &c. je crois qu'il est à propos de commencer par établir celles qu'il a toujours en qualité d'air, & indépendamment des conditions dont nous venons de parler.

X. LEÇON.

PREMIERE SECTION.

De l'Air considéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de sa masse.

IL est presqu'inutile de dire que l'air est une substance matérielle : si l'on excepte les enfans qui n'ont point encore fait usage de leur raison, ou des hommes grossiers & sans éducation qui n'ont jamais réfléchi sur les choses les plus communes, il n'y a personne maintenant qui ne reconnoisse dans ce fluide les principaux attributs qui caractérisent les corps, l'étendue, la divisibilité, la résistance, &c. Tout le monde sait qu'il peut recevoir & transmettre le mouvement ; & si l'on dit qu'un vase est vuide quand on en a répandu l'eau, c'est une expression autorisée par l'usage, mais dont on reconnoît généralement la fausseté ou le peu de justesse.

Les Auteurs anciens, comme les modernes, ont reconnu que l'air est une matiere. Ceux d'entr'eux qui

l'ont qualifié d'*esprit*, ont sans doute employé ce terme dans le sens figuré, pour exprimer la subtilité de ce fluide, ou pour faire entendre combien il est nécessaire, pour la vie des animaux, & pour l'accroissement des plantes ; ou s'il faut prendre cette expression littéralement, on a tort de traduire le mot latin *Spiritus* par celui d'*Esprit* : il signifie également un souffle, un air agité ; & l'on doit croire qu'aucun Physicien ne l'a entendu autrement. Au reste l'autorité n'a point de force lorsqu'elle se trouve en contradiction avec l'expérience : l'usage de l'éventail fait sentir la résistance de l'air aux personnes mêmes qui cherchent le moins à s'en convaincre ; & lorsque nous avons prouvé l'impénétrabilité des corps en général, les expériences que nous avons employées ont fait connoître spécialement celle de l'air.

Quelques Physiciens * ont pensé que l'air pourroit bien n'être autre chose qu'un mélange des particules les plus subtiles qui s'exhalent de tous les autres corps, & qui étant trop divisées pour reprendre leur premiere

* *Otto de Guerike, Exper. nov. Magdeb. lib.* 2. *c.* 1. & *lib.* 4. *c.* 1. *Boyle, Exp. Phys. Mech. edit. Genev.* 1677. *p.* 69.

X. LEÇON.

s'Gravesande, Physices Elem. Mat. p. 36. edit. 1742.

forme, demeurent ſous celle d'un fluide particulier qu'elles compoſent; mais outre que cette opinion n'eſt appuyée ſur aucune preuve, l'air a des propriétés conſtantes, des caracteres inaltérables par leſquels il ſe fait toujours connoître, & qui ne manqueroient pas de varier ſelon les circonſtances du temps & du lieu, s'il étoit vrai qu'ils dépendiſſent de la décompoſition de pluſieurs matieres & de l'aſſemblage de tant d'extraits. Il eſt donc plus naturel de penſer que l'air eſt une eſpéce de ſubſtance particuliere, dont la nature eſt fixe, que ſes parties intégrantes ſont homogénes, ou que ſes principes ſont unis de tout temps, pour ne céder à aucun des efforts que nous pourrions faire pour le décompoſer.

La fluidité de l'air eſt telle qu'on ne la voit jamais ceſſer, tant que ſes parties ſe touchent, & que leur contiguité n'eſt point interrompue par une trop grande quantité de matiere étrangere. Nous voyons communément des liqueurs ſe glacer par le froid; certains fluides comprimés ou condenſés ceſſent de couler, & ſe fixent

ſous la figure qu'on leur fait prendre : mais dans quelque climat & dans quelque ſaiſon que ce ſoit, on ne voit jamais aucune partie de l'atmoſphere devenir ſolide ; & la compreſſion la plus forte qu'on ait jamais employée, n'a pû durcir ou fixer l'air. La fluidité eſt-elle donc de ſon eſſence ? eſt-il abſolument impoſſible qu'il la perde ? c'eſt ce que l'on ne voit pas ; mais auſſi ce ſeroit une témérité d'avancer le contraire, ſans en apporter des preuves.

Cette fluidité ſi conſtante de l'air viendroit-elle de la ſeule ſubtilité de ſes parties, comme l'a penſé un ſavant Chymiſte *? c'eſt ce que l'on ne préſumera pas, ſi l'on fait attention que l'eau, & quelques autres liqueurs, qui ceſſent d'être fluides par un grand froid, paſſent au travers de certains corps que l'air ne peut jamais pénétrer ** ; car ſi la ténuité des parties étoit capable d'entretenir conſtamment la fluidité, ou l'eau ne devroit pas ſe glacer plus que l'air, ou l'air, qui ne ſe glace jamais, devroit avoir des parties plus fines, plus pénétrantes que ne le ſont celles de l'eau. Or c'eſt un fait conſtaté par

* *Boerhaave Chemia, tom. I. p. 320.*

** *Boyle ; nov. Exper. Phyſ. Mech ed. Genev. p. 108.*

X. LEÇON.

M. de Reaumur *, que l'air ne passe point au travers du papier mouillé, & de quelques autres matieres qui sont très-propres à filtrer l'eau ; d'où il résulte que les parties de l'air sont plus grossieres ou moins subtiles que celles de l'eau, à moins que la figure dans les unes ne compense la ténuité des autres.

* *Mem. de l'Académie des Sciences*, 1714. p. 59.

Il est assez vraisemblable que l'air demeure constamment fluide, parce qu'il est parfaitement élastique : s'il n'étoit que compressible, ses parties rapprochées pourroient peut-être se toucher d'assez près pour former un corps dur, & rien ne les obligeroit à sortir de cet état, comme la neige pressée entre les mains prend la figure & la consistance d'une boule solide : mais le ressort qu'elles ont, tend toujours à raréfier la masse qu'elles composent, parce que la plus forte compression ne peut que le tendre & non pas le forcer ; par ce moyen ces parties conservent cette mobilité respective en quoi consiste la fluidité.

On peut concevoir les parties intégrantes de l'air comme des petits filamens contournés en forme de spi-

res flexibles & élaſtiques, & leur aſ- ſemblage à peu-près comme un pa- quet de coton ou de laine cardée que l'on peut réduire en un plus pe- tit volume lorſqu'on le preſſe, mais qui tend toujours à ſe remettre dans ſon premier état. Cette idée n'eſt qu'une eſquiſſe bien groſſiere de la nature de l'air; & j'avoue qu'il y a peut-être cent contre un à parier, que les parties de cet élément n'ont point la figure que je leur attribue; parce que pour les ſuppoſer telles, je n'ai d'autre raiſon que leur flexibi- lité & leur reſſort, & qu'elles peuvent être élaſtiques avec cent figures dif- férentes d'un filet ſpiral : auſſi lorſque j'adopte cette hypothéſe avec la plû- part des Phyſiciens, je ne prétends point dire ce qu'elles ſont, mais ſeu- lement ce qu'elles peuvent être; & c'eſt moins pour prendre un parti ſur leur figure, que pour être en état de faire mieux connoître le reſſort admi- rable du fluide qu'elles compoſent, & quelques autres propriétés dont nous parlerons ci-après.

On dit communément que l'air eſt ſec; mais pourquoi lui attribue-t-on

X.
LEÇON.

cette qualité? eſt-ce parce qu'il enleve de la ſurface des corps l'humidité qui s'y trouve? En effet, il arrive aſſez ſouvent qu'il fait l'office d'une éponge; mais auſſi dans pluſieurs cas il rend humides les corps qu'il touche, parce que les parties aqueuſes dont il eſt toujours plus ou moins chargé, s'attachent à certaines matieres plus facilement & plus fortement qu'à l'air même: on expoſe du linge à l'air pour le faire ſécher; mais le même procédé auroit un effet tout contraire à l'égard du ſel de tartre ou de quelqu'autre ſel; c'eſt pourquoi les cordes ou les toiles qui ont trempé dans l'eau de la mer ſe ſechent difficilement à l'air, parce que l'eau demeure opiniâtrément attachée aux particules ſalines qui tiennent à la ſuperficie.

Dira-t-on que l'air eſt ſec, parce qu'il ne mouille pas comme les liqueurs? alors il faut convenir de ce qu'on doit entendre par le terme de *mouiller*: s'il ſignifie adhérer à la ſurface des corps ſolides, on doit demeurer d'accord que l'air mouille au moins un grand nombre de matieres;

res : car c'eſt un fait certain que ſi l'on verſe dans un vaſe quelque liqueur qui oblige l'air d'en ſortir, il demeure toujours une couche de ce fluide adhérente aux parois ; on ne l'apperçoit pas communément, parce qu'elle eſt fort mince & tranſparente ; mais elle devient ſenſible quand on la dilate, ſoit qu'on chauffe fortement le vaſe, ſoit qu'on le mette dans le vuide : & c'eſt par cette raiſon qu'un barométre qui n'a point été rempli au feu, c'eſt-à-dire, dont le mercure n'a point bouilli dans le tube, paroît terne ; & qu'on y apperçoit une infinité de petites bulles d'air qui ſont demeurées attachées au verre. Si *mouiller* ſignifie cette impreſſion qui ſe fait ſur la peau lorſque nous touchons une liqueur, impreſſion toujours différente de celle d'un corps ſolide, parce que les parties mobiles entr'elles & très-déliées, ſe moulent dans les pores, & procurent un attouchement plus exact & plus complet ; dans ce ſens l'air mouille auſſi, & ſi nous nous en appercevons moins, c'eſt que l'impreſſion qu'il a coutume de faire ſur

X. LEÇON.

notre peau nous eſt plus familiere : ſa façon de mouiller eſt différente, ſans doute, de celle des liqueurs, comme celles-ci mouillent auſſi différemment les unes des autres ; l'eſprit de-vin mouille autrement que l'eau, & l'eau ne mouille pas comme l'huile ; c'eſt-à-dire, que leur application ſur la peau excite des ſenſations différentes.

DE's que l'on ſait par un nombre infini d'obſervations familieres, que l'air eſt matériel, que ſes parties réunies forment une maſſe réſiſtante, mobile, & capable de mouvoir d'autres corps, il eſt preſque ſuperflu d'examiner s'il eſt peſant : car quoique la peſanteur ne ſoit pas un attribut eſſentiel à la matiere, & qu'on puiſſe bien la concevoir ſans cette tendance au centre de la terre ; cependant nous n'avons aucun exemple à citer qui nous autoriſe à excepter l'air de cette loi commune ; & nous devons préſumer qu'il y eſt aſſujetti comme les autres corps ſublunaires, à moins que nous n'ayons des preuves du contraire.

Mais bien loin d'avoir aucune raiſon pour attribuer à l'air une légéreté

absolue, des faits sans nombre nous forcent à reconnoître son poids : nous en avons rapporté plusieurs en traitant de l'hydrostatique; en voici d'autres qui le prouvent directement.

I. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Figure* 1. représente une de ces pompes que l'on nomme communément, *Machines pneumatiques* : quoique ce nom, à le prendre selon son étymologie, convienne également à toutes les machines qui servent aux expériences qu'on fait sur l'air; cependant par un usage qui a prévalu, il désigne spécialement celle avec laquelle on fait le *vuide*, c'est-à-dire, avec laquelle on pompe l'air d'un vaisseau, apparemment parce qu'elle a plus de célébrité que les autres, & que par son moyen on a fait un grand nombre de curieuses & utiles découvertes en ce genre. Son premier Auteur fut Otto de Guerike, Consul ou Bourguemestre de Magdebourg, qui commença à la faire connoître à Ratisbonne l'an 1654. Quelques années

X. LEÇON.

après, Boyle en fit construire une à peu-près semblable qu'il a beaucoup perfectionnée depuis. Le grand usage que fit de cette machine le Philosophe Anglois, & le succès de ses expériences, firent perdre de vûe le Magistrat Allemand à qui l'on en doit l'invention, de sorte qu'à présent le principal effet de cette pompe se nomme communément *le Vuide de Boyle.* M. Homberg touché des progrès qu'avoit fait la Physique en Allemagne & en Angleterre, par le moyen de cette ingénieuse machine, & n'ignorant pas de quelle utilité elle pouvoit être entre les mains des Savans, chercha les moyens de la rendre plus exacte qu'elle n'avoit été jusqu'alors; & par ses soins, l'Académie Royale des Sciences, dont il étoit membre, en fit faire une il y a environ 60 ans, que l'on voit encore au Jardin du Roi parmi les instrumens qui lui appartiennent. Enfin depuis que j'ai embrassé une profession qui me rend l'usage de cette pompe aussi fréquent que nécessaire, je me suis appliqué à la rendre telle, qu'elle pût être d'un service plus sûr, plus com-

mode & plus étendu qu'elle n'avoit été précédemment : on pourra juger si j'ai rempli ces trois objets, en lisant dans les Mémoires de l'Académie pour les années 1740 & 1741, les changemens & les augmentations que j'ai faits à cette machine, dont on trouvera l'histoire & la description, avec un détail que je ne puis me permettre ici.

Je dirai seulement, pour faciliter l'intelligence des faits que j'ai à rapporter dans la suite de cette Leçon, que la machine pneumatique dont je me sers est composée de six parties principales; savoir: 1°, d'un corps de pompe de cuivre *A*: 2°, d'un piston dont le manche est terminé en forme d'étrier *B*, pour être abaissé avec le pied, & garni d'une branche montante avec une poignée *C*, pour être relevé avec la main : 3°, d'un robinet dont on voit la clef en *D* : 4°, d'une platine couverte d'un cuir mouillé, sur lequel on pose le récipient ou la cloche de verre *E* : 5°, d'un pied *FG*, avec deux tablettes *H*, *H*, qui peuvent se hausser & se baisser à volonté: 6°, d'un rouet *IKL*, avec lequel on

X. Leçon.

peut transmettre un mouvement très-rapide dans un récipient, après qu'on en a pompé l'air.

Comme on ne peut pas faire le vuide d'un seul coup, il faut qu'on puisse remonter le piston sans faire rentrer dans le récipient l'air qu'on en a ôté, & qui a passé dans le corps de la pompe: pour cet effet la clef du robinet est percée de façon qu'en lui faisant faire un quart de tour, on ouvre une communication par laquelle le piston, en se relevant, pousse l'air du dedans au-dehors de la pompe, & l'on ferme en même temps tout accès du côté du récipient: ensuite en remettant la clef dans la premiere situation, on est en état de donner un nouveau coup de piston.

Les autres fonctions de cette machine dépendent des propriétés mêmes de l'air que je dois faire connoître; c'est pourquoi je différe d'en parler jusqu'à ce que j'aye donné une idée assez étendue de ce fluide sur lequel elle agit.

La *Fig.* 2 est un ballon de verre qui contient environ 15 pintes de Paris: le col est garni d'une virolle de cui-

vre, & d'un robinet qui s'ajuste à une vis qui excede de quelques lignes la platine de la machine pneumatique au centre, de sorte qu'on peut le vuider d'air, & le garder en cet état.

La *Fig.* 3. est une balance très-mobile à laquelle on met en équilibre le ballon vuide; & pour conserver au fléau une plus grande mobilité par la diminution des frottemens de son axe, on peut peser le ballon dans l'eau, ce qu'il est aisé de faire en y attachant des poids qui l'obligent à se plonger entiérement: alors la balance n'est chargée que de la pesanteur respective du ballon plongé, qui peut être diminuée autant que l'on veut, & du poids que l'on met de l'autre part pour le tenir en équilibre, comme nous l'avons fait voir dans la huitieme Leçon, par les expériences qui prouvent la seconde proposition.

EFFETS.

Lorsqu'on ouvre le robinet du ballon suspendu pour y laisser rentrer l'air, & qu'on le referme ensuite pour le laisser se plonger sans que l'eau y puisse entrer, il se trouve toujours

X. LEÇON.

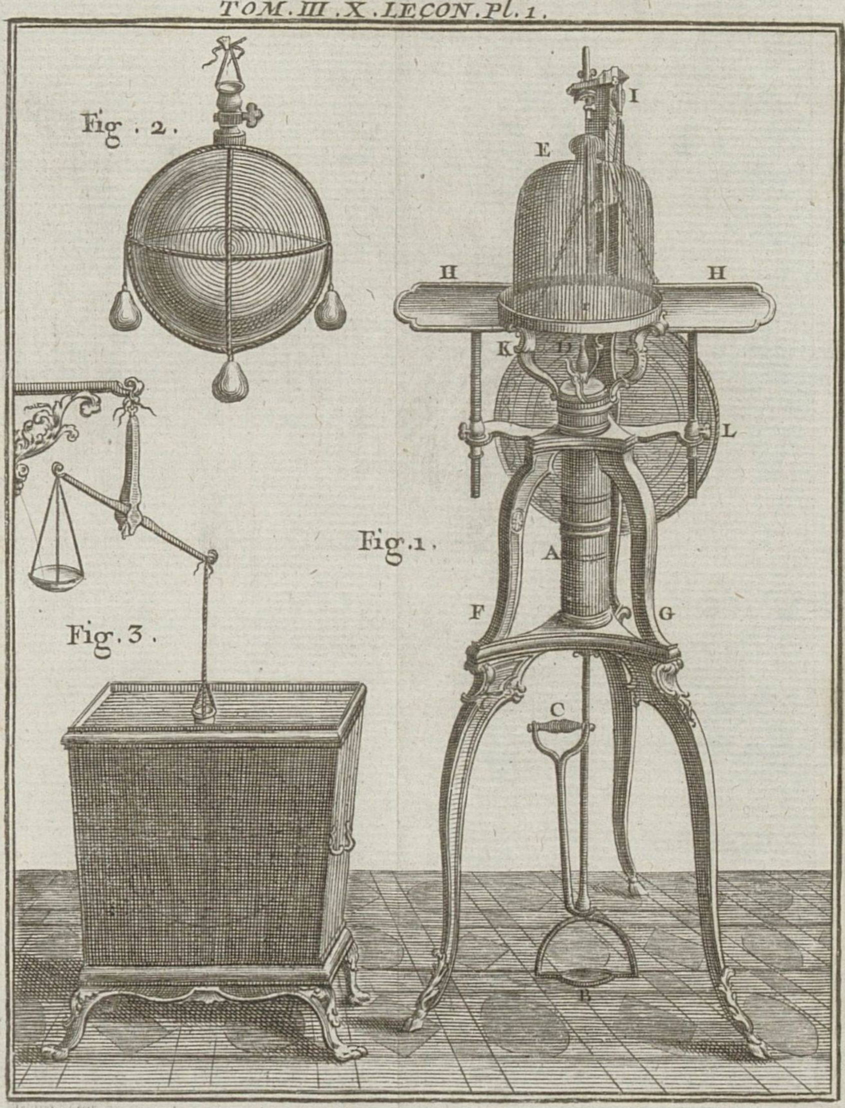
plus pesant que le poids de l'autre part avec lequel il étoit d'abord en équilibre.

EXPLICATIONS.

Cette expérience est la plus simple & la plus décisive de toutes celles qu'on employe pour prouver que l'air a une pesanteur absolue ; car on sait que dans l'usage de la balance ordinaire, un poids ne peut être enlevé que par un plus grand poids ; puisque le ballon devient plus pesant dès qu'il s'emplit d'air, c'est une marque certaine que cette augmentation vient du fluide qu'il a reçu.

On dira peut-être que le ballon, en se remplissant, ne reçoit point ce nouveau poids de l'air même qui y rentre, mais plutôt des corps étrangers, & des vapeurs aqueuses dont il est toujours chargé, & qui s'introduisent avec lui.

Quoique cette objection, au premier coup d'œil, ait tout l'air d'une mauvaise difficulté, & qu'elle n'ait arrêté presque personne de ceux qui ont fait ou connu cette expérience avant moi, je ne puis cependant dissimuler


Fig. 2.
Fig. 1.
Fig. 3.
I
E
H
H
K
D
L
A
F
G
C
B

simuler qu'elle m'a paru forte, surtout lorsque j'ai vû, par des épreuves faites en différens tems, qu'un volume d'air de 2 ou 3 pintes pris au hazard dans l'atmosphere, contenoit toujours assez d'eau pour rendre une once de sel de tartre sensiblement humide & plus pesante; car si l'on joint au poids de cette eau celui des autres matieres qui sont infailliblement répandues avec elle dans le même volume d'air, & que le sel de tartre n'a point absorbées, on pourroit être tenté de croire que de toute la pesanteur du fluide mixte, il n'y a rien qui appartienne aux parties propres de l'air.

X. LEÇON.

Cette considération a fait dire à M. Boerhaave * que l'air, de même que le feu, pourroit bien ne peser vers aucun point déterminé de l'Univers : je ne me suis point arrêté à cette conjecture ; & bien loin de céder à la difficulté, je me suis mis en état de la combattre par le procédé que voici.

* *Chemiæ t. I. p. 267.*

Je suspends le ballon plein d'air à la balance, & je le tiens en équilibre dans l'eau avec un poids connu : en-

X. LEÇON.

ſuite, ſans le changer de ſituation; j'applique au robinet un ſiphon qui répond à la machine pneumatique pour y faire le vuide; à meſure que je raréfie l'air, je vois tomber au fond du ballon les vapeurs dont il eſt chargé, & qui ne ſont point de nature à ſe raréfier comme lui & à le ſuivre; de cette maniere je fais reſter dans le ballon (au moins pour la plus grande partie) ces corps étrangers à qui l'on pourroit ſoupçonner qu'il doit tout ſon poids, & je ſuis comme certain que ce qui ſort du vaiſſeau eſt de l'air pur; cependant lorſque j'ai fermé le robinet, & que j'eſſaye de remettre le ballon vuide en équilibre avec le premier poids, je le trouve, à peu de choſe près, d'autant plus léger qu'il étoit plus peſant dans la premiere expérience: d'où il ſuit inconteſtablement que l'air par lui-même & indépendamment des vapeurs & des exhalaiſons avec leſquelles il ſe trouve mêlé, augmente le poids d'un vaiſſeau qu'il remplit.

APPLICATIONS.

PAR le moyen des expériences que

je viens de rapporter, non-ſeulement on peut s'aſſurer de la peſanteur abſolue de l'air; mais on peut connoître auſſi quelle eſt ſa peſanteur ſpécifique, en comparant un volume d'air connu dont on ſait le poids, avec un pareil volume d'une autre matiere que l'on péſe ſéparément: un exemple rendra ceci plus intelligle.

X. LEÇON.

Après avoir mis mon ballon plein d'air & plongé dans l'eau en équilibre au bras de la balance, ſi je le rends plus léger en pompant la plus grande partie de l'air qu'il contient, le poids que j'ajoute enſuite de ſon côté pour rétablir l'équilibre, eſt juſtement celui de l'air qui en eſt ſorti. Je renverſe auſſi-tôt le ballon dans l'eau, de maniere que l'orifice regarde le fond du vaiſſeau, & j'ouvre le robinet; alors le poids de l'atmoſphere pouſſe dans le ballon un volume d'eau qui égale celui de l'air qu'on a ôté: je ferme le robinet; je remets le ballon dans ſa premiere ſituation, & je charge le baſſin de la balance, juſqu'à ce que tout ſoit en équilibre; le poids que je ſuis obligé d'y mettre, eſt celui du volume d'eau qui eſt entré

X. LEÇON.

dans le ballon : ainſi en comparant les deux poids, je vois le rapport qu'il y a entre deux volumes égaux d'air & d'eau. En procédant ainſi, M. Hauxbée a trouvé que la peſanteur ſpécifique de l'air eſt à celle de l'eau, à peu-près comme 1 eſt à 885.

Au récit de ces expériences, on croiroit volontiers qu'il n'y a rien de plus facile à faire que cette comparaiſon du poids de l'air à celui d'un autre fluide par le moyen de la balance ; cependant on n'en vient à bout qu'avec beaucoup de ſoins ; & quelques précautions que l'on prenne, il reſte toujours de l'incertitude dans le réſultat.

La difficulté vient 1°, de ce que tous les fluides, & généralement tous les corps ſe dilatent par la chaleur, & ſe condenſent par le froid, de ſorte que l'air & l'eau que l'on compare dans le mois de Juin n'ont pas la même denſité qu'au mois de Janvier : cet inconvénient ne ſeroit pas d'une ſi grande conſéquence, ſi ces matieres, en ſe dilatant ou en ſe condenſant, gardoient toujours entr'elles le même rapport ; mais il s'en faut bien

que cela ſoit, & ce n'eſt point une petite affaire que de bien connoître les variations qu'elles éprouvent ſelon leurs différentes températures. X. LEÇON.

2°. Comme il n'y a point d'air parfaitement pur, auſſi n'y a-t-il point d'eau qui ne contienne quelque choſe d'étranger ; & quoi qu'en diſent quelques Auteurs, il y a bien des eaux, qui, au même degré de chaud & de froid, différent ſenſiblement de peſanteur entr'elles. Or s'il eſt néceſſaire de ſavoir quelle eau ou quel air on a peſé, pour conclure avec préciſion le rapport de l'une à l'autre, on ne peut donc prononcer en général qu'un à peu-près.

3°. Les variations du barométre nous apprennent que la preſſion de l'atmoſphere n'eſt pas toujours la même ; & nous verrons bien-tôt que l'air change de denſité ſelon qu'il eſt plus ou moins comprimé. Il peut donc arriver que le volume d'air meſuré par la capacité du ballon, ſoit plus peſant dans un tems que dans un autre ; c'eſt pourquoi M. Hauxbée, dans le récit de ſon expérience, n'a omis ni la hauteur actuelle du mer-

X. LEÇON.

cure dans le barométre (*a*), ni la ſaiſon dans laquelle il a operé ; au lieu de citer ſeulement le mois (*b*), il auroit ſans doute déſigné la température par le degré du thermometre, s'il y en avoit eu alors de comparables comme à préſent.

4°. Pour comparer exactement le poids de l'air avec celui de l'eau, il faut qu'en plongeant l'orifice du ballon où l'on a fait le vuide, il y rentre juſtement autant d'eau qu'il en eſt ſorti d'air, ſans quoi ce ne ſeroit plus comparer enſemble deux volumes égaux. Mais on ſait que quand une liqueur ſe trouve dans le vuide, l'air qu'elle contient s'en dégage, & s'éleve au-deſſus : c'eſt le cas où ſe trouve l'eau qui commence à monter dans le ballon ; elle blanchit par la quantité des bulles d'air qui s'en échappent ; & cet air occupant la partie ſupérieure du vaiſſeau, empêche qu'il ne reçoive autant d'eau qu'il devroit y en entrer, eû égard au vuide qu'on y avoit fait. Il faudroit donc avoir

(*a*) 29 p. $\frac{1}{2}$, meſure d'Angleterre, c'eſt-à-dire un peu moins que 28 pouces de France.

(*b*) Mai.

bien purgé d'air l'eau dont on veut se servir dans cette expérience ; & c'est ce qu'il ne paroît pas qu'on ait fait jusqu'à présent ; d'où il suit que l'on a conclu la pesanteur spécifique de l'air un peu plus petite qu'elle n'est en effet.

X. LEÇON.

On ne doit donc pas être surpris de trouver si peu d'accord entre les Auteurs qui ont tenté ces sortes d'expériences, sur-tout dans des temps où les procédés étoient d'autant plus difficiles, qu'on étoit moins instruit des faits, & qu'on n'avoit pas les moyens dont on peut s'aider maintenant. Galilée établit le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 400 ; le Pere Mersene comme 1 à 1346 : quelle différence ! De tous les Physiciens qui ont cherché depuis à résoudre cette question, personne n'a trouvé l'air aussi pesant qu'il le seroit suivant le premier de ces résultats, ni aussi léger qu'il paroît l'être par le dernier (*a*) : & si l'on prend un milieu entr'eux,

(*a*) Boyle dans ses Expér. Physicoméch. conclut que l'eau commune est 938 fois plus pesante que l'air : & dans d'autres endroits, il varie sur cette estimation. M. Homberg,

X. LEÇON.

il paroît aſſez conſtant que l'eau de pluie eſt environ 900 fois plus peſante que l'air, l'un & l'autre étant pris dans une température moyenne, comme de 12 degrés au-deſſus du terme de la glace, le barometre étant à 28 pouces.

Comme les volumes ſont en raiſon réciproque des peſanteurs ſpécifiques, il faudroit donc un volume d'air d'une denſité uniforme & égal à 900 pieds cubes, pour faire équilibre à un pied cube d'eau qui péſe environ 70 livres; d'où il ſuit que la peſanteur abſolue d'un pied cube d'air, eſt à peu-près une once & deux gros (*a*).

La peſanteur de l'air étant une fois connue, on ne doit plus être ſurpris de ſentir la main s'attacher ſur un petit récipient ouvert par le haut, lorſqu'on y fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique : car tant

comme il paroît par l'hiſt. de l'Ac. des Sciences, après avoir auſſi changé pluſieurs fois d'avis, a donné le rapport de l'air à l'eau, comme 1 à 1087; M. Halley, comme 1 à 860; M. Hauxbée comme 1 à 885; M. Muſchenbrock comme 1 à 681.

(*a*) Wolf. Elem. Aërom. p. 741. dit qu'un pied cube d'air péſe une once 27 grains.

que le vase est plein d'un air aussi dense que celui de l'atmosphere, la main se trouve appuyée non-seulement sur les bords, mais encore sur la masse du fluide qui est renfermé, & qui résiste à la pression extérieure ; mais quand on a fait le vuide, la main, toujours pressée par l'air du dehors, ne se trouve plus soutenue que par les bords du récipient ; & pour l'en séparer, il faudroit faire de bas en haut un effort capable de soulever la colonne d'air qui pése dessus. Or le poids de cette colonne égale celui d'un cylindre de mercure qui auroit pour base le plan qui est terminé par les bords du récipient, & 27 à 28 pouces de hauteur, comme on l'a vû par la fameuse expérience de Toricelli *.

* 7. Leçon, p. 275.

Il suit de-là que cette pression est d'autant plus grande & plus sensible, que le récipient a plus d'ouverture par en haut ; c'est pourquoi la main y tient bien davantage que le bout du doigt, lorsqu'on le pose sur le trou même qui est au centre de la platine ; & par la même raison, une clef forée que l'on succe, & qui s'attache ensuite à la langue ou à la lévre, s'en

X. LEÇON.

détache d'autant plus difficilement que le tuyau eſt plus gros.

Quand on fait ainſi le vuide ſous la main, ou ſous quelqu'autre partie du corps, on doit avoir ſoin que les bords du récipient ne ſoient pas trop aigus ; car ils pourroient bien entamer la peau : on peut en faire l'épreuve avec la moitié d'une pomme ou avec une tranche de navet ; au premier coup de piſton, il arrive preſque toujours qu'il s'en détache un cercle qui entre dans le vaſe avec impétuoſité & avec bruit.

Cette adhérence que l'on peut faire naître par la preſſion de l'air extérieur, pourroit être employée fort utilement dans la Chirurgie : je ne parle point de la ventouſe qui eſt ſi connue, & dont l'uſage eſt maintenant aſſez négligé en France ; mais n'y auroit-il pas des occaſions où l'on auroit beſoin de ſaiſir, pour un peu de temps, une partie délicate, qui, par ſa figure, par ſon volume, ou par ſa molleſſe, ne donne point de priſe aux tenetes & autres inſtrumens ? une petite pompe dont l'orifice formé en pavillon, pourroit être de telles dimen-

ſions, & garni de telle maniere qu'on le jugeroit à propos pour l'opération, deviendroit un moyen ſûr & avantageux entre les mains d'un homme intelligent ; c'eſt aux gens de l'art à juger de l'application qu'on en pourroit faire.

Il ſemble d'abord que cette preſſion extérieur de l'air, qui vient de ſon poids, devroit écraſer les cloches de verre, dont on couvre la platine de la machine pneumatique pour faire le vuide; mais pour peu qu'on y faſſe attention, on verra que ces vaiſſeaux, étant toujours uniformément arrondis en forme de cylindre ou de voûte, ſont à l'abri de cet accident : comme la ſurface extérieure eſt néceſſairement plus grande que celle du dedans, toutes les parties qui compoſent l'épaiſſeur, reſſemblent à celles dont on fait les cintres ; ce ſont autant de coins ou de pyramides tronquées, qui ſe ſoutiennent mutuellement, à meſure qu'elles ſont preſſées vers un axe ou un centre commun, par l'action d'un fluide qui péſe en tout ſens. On peut voir par la *Fig.* 4. l'épaiſſeur d'un récipient coupé ſe-

X. Leçon. lon ſon axe, & par la *Fig.* 5. le même vaiſſeau coupé parallélement à ſa baſe.

Ce qui prouve bien que la forme arrondie défend les vaiſſeaux contre le poids de l'air, lorſqu'ils en ſont vuides, c'eſt qu'ils ſe caſſent infailliblement, quand ils ont une autre figure. Que l'on applique à la machine pneumatique celui qui eſt repréſenté par la *Fig.* 6. il eſt ouvert de part & d'autre, comme le petit récipient ſur lequel on applique la main : mais au lieu de le boucher ainſi, on étend & on lie deſſus un morceau de veſſie mouillée qui lui ſert de fond, & qu'on laiſſe ſécher ; à meſure qu'on fait agir la pompe deſſous pour le vuider, le poids de l'air extérieur fait prendre à cette veſſie tendue la forme d'une calotte renverſée, & enfin elle creve avec éclat. Un morceau de verre de vitre, ou de glace de miroir, que l'on poſeroit en la place de cette veſſie, ſe briſeroit de même, s'il étoit exactement appliqué ſur les bords du vaiſſeau, par le moyen d'un cuir interpoſé, ou autrement. Les bouteilles de verre mince qui ſont fort appla-

ties, & ordinairement couvertes d'osier, crevent assez souvent, quand on les porte à la bouche à demi-pleines de liqueur, pour boire à même; car la succion raréfie l'air intérieur, & le poids de l'atmosphere agissant sur les deux côtés plats, les porte l'un vers l'autre, & brise le vaisseau.

X. LEÇON.

Ces sortes d'épreuves, & sur-tout celle de la vessie, causent toujours quelque étonnement aux personnes qui les voyent pour la premiere fois, par le grand bruit qui les accompagne. Cet effet vient de ce que l'air entre avec une grande vîtesse (*a*) & tout à la fois en grand volume, dans un vaisseau vuide dont il frappe les parois : car le bruit vient primitivement du choc des corps, comme nous le ferons voir par la suite; & les fluides sont très-capables de heurter les solides.

On remarque quelque chose de semblable, lorsqu'on tire brusquement le couvercle d'un étui à cure-

(*a*) Selon M. Papin, l'air de l'atmosphere en rentrant dans le vuide, va avec une vîtesse qui lui feroit parcourir 1305 pieds dans une seconde. *Abrég. de Lowtorps*, *T.* 1. *p.* 586.

X. Leçon.

dents, d'une écritoire de poche, ou le piston hors d'une seringue qui est bouchée par l'autre bout ; c'est qu'alors on fait une sorte de vuide que l'air du dehors se hâte de remplir, dès que l'accès lui est libre : car pendant qu'on ouvre l'étui, la capacité *AB*, *Fig.* 7. s'augmente de la quantité *B C*, & l'air intérieur en devient d'autant plus rare; puisqu'au lieu d'être contenu entre *A B*, comme il l'étoit dans son état naturel, il s'étend jusques en *C* : mais ceci s'entendra encore mieux, quand nous aurons expliqué de quelle maniere l'air se raréfie, lorsqu'on fait usage de la machine pneumatique.

La densité de l'air, d'où dépend sa pesanteur spécifique, n'est point constante, elle varie beaucoup, non-seulement par le froid & par le chaud, comme il arrive à toutes les autres matieres, mais aussi par une compression plus ou moins grande à la maniere des corps à ressort. Je dis à la maniere des corps à ressort, parce que pendant tout le temps que l'air est comprimé, il conserve constamment la faculté de s'étendre & d'occuper

un plus grand eſpace, auſſi-tôt que l'on fait ceſſer les cauſes qui reſſerrent ſon volume, comme le crin, la laine, le duvet de plume, &c. avec cette différence cependant, que toutes ces matieres perdent leur élaſticité en tout ou en partie, quand elles ſont trop fortement ou trop long-temps comprimées, au lieu que l'air ſe rétablit toujours parfaitement; au moins peut-on dire qu'il n'y a juſqu'à préſent aucun fait connu qui prouve le contraire (*a*).

L'air ſe comprime lui-même par ſon propre poids, de ſorte que celui que nous reſpirons dans la plaine, eſt plus denſe que celui qu'on trouve ſur une montagne; parce que celui-ci eſt chargé d'une colonne moins longue que celui-là.

Mais de quelque maniere que l'air ſoit comprimé, ſon reſſort fait toujours équilibre à la puiſſance qui reſtraint ſon volume, de maniere que

(*a*) M. de Roberval a gardé pendant 15 ans de l'air comprimé dans une canne à vent; & après cet eſpace de temps, l'air a montré dit-il, autant de force qu'il a coutume d'en avoir, en pareil cas.

ſi ſa réaction devient libre, il pourra faire, en qualité de fluide élaſtique, tout ce qu'auroit pû faire la force qu'on a employée pour le comprimer : les expériences ſuivantes ſerviront d'éclairciſſement & de preuves à ces propoſitions.

II. EXPERIENCE.

Preparation.

EFG, *Fig.* 8. eſt un tuyau de verre recourbé en forme de ſiphon, dont la plus longue branche a environ 8 pieds de longueur, & la plus courte 12 pouces, à compter de *d* en *G* : ce tuyau peut avoir intérieurement 3 ou 4 lignes de diametre, & la partie *d G* doit être parfaitement cylindrique ; il eſt ouvert en *E*, & fermé en *G* ; & il eſt attaché ſolidement ſur une planche aſſez épaiſſe pour ne point plier facilement, & diviſée en pouces de *d* en *E*, & de *d* en *G*. Cet inſtrument étant debout, on y fair couler un peu de mercure, de maniere que le coude en ſoit rempli : on continue enſuite de verſer du mercure dans la branche la plus longue ; & à

meſure

mesure qu'elle s'emplit, on observe, par les divisions qui sont marquées de part & d'autre, quels rapports gardent entr'elles les élévations du mercure dans les deux branches.

X. LEÇON.

EFFETS.

Lorsque le mercure est élevé de 4 pouces au-dessus du point *d* dans la plus courte branche; à compter du niveau de cette élévation, il s'en trouve 14 pouces dans la plus longue.

En continuant de verser du mercure, on remarque que 6 pouces d'élévation vers *G*, répondent à 28 pouces de l'autre part; & 9 pouces à 84.

EXPLICATIONS.

Avant que de faire couler du mercure dans l'instrument, toute sa capacité est remplie d'un air qui est comprimé par le poids même de l'atmosphere: en mettant du mercure dans le coude *d*, on divise cet air en deux colonnes, dont une *Ed*, souffre toujours la même compression de la part de l'air extérieur, avec qui elle com-

X. LEÇON.

munique : & l'autre *d G* doit être considérée comme un ressort précédemment tendu par le poids de l'atmosphere : tant que le mercure est en équilibre avec lui-même dans la ligne *d h*, cette petite colonne d'air faisant aussi équilibre par son ressort à l'autre, qui pése en *d*, son volume ne doit ni augmenter ni diminuer ; mais lorsqu'on ajoute du mercure dans la plus longue branche, il ne s'éleve pas également dans la plus courte, parce que l'air qui s'y trouve renfermé, lui fait obstacle. Cette opposition cependant n'empêche pas qu'il ne soit restraint dans un plus petit espace, parce qu'alors il est pressé, non-seulement par le poids de l'atmosphere, comme auparavant, mais encore par une colonne de mercure dont la hauteur ne doit se compter que du niveau de son élévation dans la plus courte branche, puisque ce qu'il y en a au-dessous de cette ligne est égal de part & d'autre.

On doit se souvenir qu'en parlant du barometre *, nous avons observé qu'une colonne de mercure d'environ 28 pouces de hauteur, pése au-

* Tome II. VII. Leçon, p. 295. & suiv.

tant qu'une colonne d'air de même base, & de la hauteur de l'atmosphere : 14 pouces de mercure ajoutés au poids de l'air extérieur augmentent donc d'un tiers la pression qu'il exerce contre celui qui est entre *G d*; voilà pourquoi le volume de cette portion d'air se condense, & que ce cylindre, au lieu de demeurer long d'un pied, diminue de 4 pouces, qui sont le tiers de sa premiere longueur.

Par la même raison, lorsque la colonne de mercure est de 28 pouces au-dessus de son niveau, le poids de l'atmosphere est doublé, & l'air qui soutient cette double compression, ne forme plus qu'un cylindre de six pouces de hauteur; c'est-à-dire, que son volume diminue de moitié.

Enfin 84 pouces de mercure font trois colonnes l'une sur l'autre de 28 pouces chacune, dont la somme égale trois fois le poids de l'atmosphere, & qui doivent par conséquent faire perdre les trois quarts de son volume à la colonne d'air *d G* qu'elles compriment; ainsi cette colonne de 12 pouces se réduit à trois.

X. LEÇON.

Cette expérience que l'on doit à Boyle * & à M. Mariotte **, prouve fort bien, comme on voit, que l'air comprimé diminue de volume comme la pression augmente: & puisque la densité d'une matiere croît à mesure que ses parties se rapprochent & qu'elles occupent ensemble un moindre espace, on peut dire que l'air se condense, en raison directe des poids dont il est chargé. Cependant il est assez raisonnable * de croire que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes, ou bien il faudroit supposer gratuitement, que l'air eût à cet égard un privilége exclusif; car nous ne connoissons aucun corps élastique qui puisse être comprimé à l'infini, & toujours proportionnellement aux puissances dont il éprouve l'action. D'ailleurs comme l'air n'est jamais pur, & que les matieres dont il est chargé, ne sont pas compressibles comme lui, on doit croire, qu'après une compression très-grande, ses parties cesseroient d'être flexibles, parce qu'elles seroient appuyées sur des corps étrangers, dont la nature est de ne céder à aucune force connue.

* *Contra Linum*, p. 42.

** *Oeuvres de M. Mariotte*, in-4. T. I. p. 153.

* *Hist. de l'Ac.* 1702. p. 2.

X. LEÇON.

POUR faire avec exactitude l'expérience que je viens de rapporter, il faut 1°. Que les deux branches de l'instrument soient paralléles entr'elles, & les tenir dans une situation bien verticale pendant qu'on observe les élévations du mercure; car comme les liquides pésent en raison de leur hauteur perpendiculaire à l'horison, si ces branches étoient penchées, la pression ne seroit pas comme la longueur des colonnes qu'elles renferment. 2°. Il faut prendre garde d'échauffer ou de refroidir le volume d'air contenu dans la branche *d G*; car il changeroit de dimensions, indépendamment de la pression qu'il souffre de la part du mercure, & de l'air extérieur. 3°. On doit avoir soin que la branche courte soit intérieurement bien cylindrique; car autrement des parties égales mesurées sur sa longueur, ne donneroient pas des capacités semblables, & l'on ne pourroit pas conclure avec justesse, le degré de condensation de l'air par le raccourcissement de la colonne, qu'il représente à mesure que la compression augmente.

X. LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

II, *Fig.* 9. repréſente un ſeau rempli d'eau, dont on obſerve la température par le moyen d'un thermometre qu'on y plonge; on aſſujettit dans ce premier vaiſſeau, avec un poids ou autrement, une bouteille dont l'orifice *LL* eſt fort large: on prépare enſuite un bouchon de liege que l'on perce au milieu pour recevoir le tube du barometre *KM*, & l'on place l'un & l'autre de façon que la partie inférieure du barometre ſoit dans la bouteille; après quoi l'on verſe ſur le bouchon de la cire fondue & mêlée de térébenthine, pour empêcher qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans & celui du dehors; mais de peur que la chaleur de la cire n'échauffe l'air intérieur, & n'en change la denſité, il faut pratiquer au travers du bouchon & de ſon enduit, un petit canal que l'on ne ferme que quand tout eſt bien refroidi: alors on marque avec un index à quelle hauteur le mercure ſe tient dans le barometre.

EFFETS.

Non-ſeulement le mercure ne hauſſe ni ne baiſſe au moment qu'il eſt renfermé : mais quoique par la ſuite il faſſe appercevoir ces ſortes de variations ſuivant la température du lieu où il eſt ; toutes les fois qu'on le rappelle au degré de chaud ou de froid qu'il avoit dans le vaiſſeau *I I*, où s'eſt faite la préparation, le mercure ſe remet à la hauteur indiquée par l'index ; & cet effet eſt toujours le même après pluſieurs années.

EXPLICATIONS.

Un inſtant avant qu'on ferme la bouteille, l'air qu'elle contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'atmoſphere, en ſoutient la preſſion, & la tranſmet en s'appuyant contre les parois intérieures du vaiſſeau, & contre tout ce qui s'y trouve renfermé ; cet air agit alors comme peſant ſur le réſervoir du barometre, & ſoutient le mercure à 28 pouces. Auſſi-tôt que la bouteille eſt bouchée, cette même maſſe d'air n'a plus que ſon propre poids, qui eſt

bien peu de chose en comparaison de celui de l'atmosphere, à qui elle étoit jointe précédemment ; mais elle reste comprimée selon toute la force de ce poids dont elle n'est plus chargée, & sa réaction est égale à cette force ; c'est pourquoi elle soutient, en qualité de corps à ressort, les 28 pouces de mercure qu'elle portoit, lorsqu'elle pesoit avec l'air extérieur.

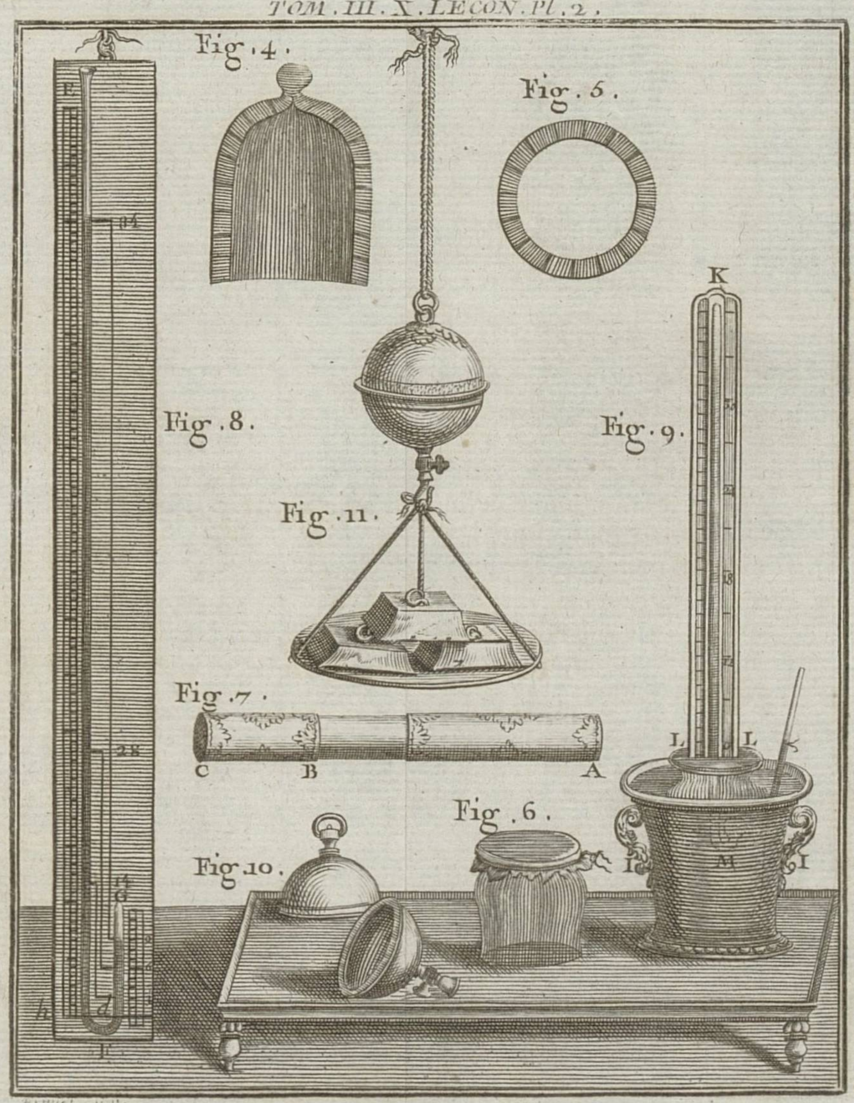
Il suit de cette épreuve que non-seulement le ressort de l'air est égal à la force qui l'a comprimé ; mais on voit aussi que cette élasticité ne s'affoiblit pas, comme celle des autres corps, par succession de temps, puisque le mercure se soutient, ou revient toujours au même degré d'élévation, quoique pendant plusieurs années on tienne la même masse d'air en expérience.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 10. représente deux hémispheres concaves de cuivre, & de 6 pouces de diametre, dont l'un est garni d'un robinet, par lequel il peut

s'ajuster


Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 11.
Fig. 7.
C
B
A
Fig. 6.
Fig. 10.
K
L
L
M
I
I
E
G
F
h
d

s'ajuster à la machine pneumatique : & l'autre porte un anneau au milieu de sa convexité, pour être facilement suspendu. Ces deux calottes se joignent en forme de globe ; & pour rendre la jonction plus facile & plus exacte ; l'une des deux a ses bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excede autant en-dedans qu'en dehors ; on le couvre d'un cuir mouillé sur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémisphere, qu'on a eu soin de bien dresser.

Tout étant ainsi disposé, on fait le vuide dans cette boule creuse, & l'on ferme le robinet pour la tenir en cet état ; lorsqu'elle est détachée de la machine pneumatique, on joint au robinet un crochet de métal capable de porter un poids de 60 livres, & l'on attache l'anneau à quelque point fixe.

EFFETS.

Quand ces deux hémispheres ainsi joints sont suspendus, comme on le peut voir par la *Fig.* 11. le poids de 60 livres qu'on y attache, n'est pas capable de les séparer l'un de l'autre ;

X. LEÇON.

& quand on ouvre le robinet pour laiſſer rentrer l'air, la moindre force les déſunit.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

QUAND les deux hémiſpheres ſont attachés enſemble par l'évacuation de l'air, au lieu de les ôter de la machine pneumatique, il faut ſeulement déviſſer deux ou trois tours, le robinet par lequel ils ſont appliqués à la pompe, afin qu'on puiſſe faire le vuide dans un récipient dont on les couvrira. Ce vaiſſeau doit être ouvert par le haut, & garni d'une boîte de cuivre rempli de cuirs gras preſſés les uns ſur les autres, au travers deſquels on fait paſſer une tige de métal bien arrondie & bien cylindrique. Cette tige porte d'un côté un anneau par lequel on la peut faire mouvoir de bas en haut & en tournant; & à ſon autre bout on ajuſte un crochet qui s'engage dans l'anneau de la calotte ſupérieure, comme il eſt repréſenté par la *Fig.* 12.

Par le moyen de cette boîte à

cuirs, lorſqu'elle eſt bien faite, on peut tranſmettre toutes ſortes de mouvemens dans le vuide, ſans que l'air y rentre, au moins d'une quantité ſenſible. Il eſt inutile de dire, qu'au lieu du crochet dont on ſe ſert dans cette expérience, on peut ajuſter au bout de la tige tout autre inſtrument dont on aura beſoin ſelon les circonſtances.

EFFETS.

Quand on a raréfié l'air du récipient à un certain degré, & que l'on tire la tige de la boîte à cuirs, de bas en haut, les deux hémiſpheres ſe ſéparent ſans peine; & ſi l'on remet en place celui qu'on a ſoulevé, en faiſant rentrer l'air dans le récipient, on les attache auſſi fortement qu'ils l'étoient avant qu'on les plaçât dans le vuide.

EXPLICATIONS.

Les deux hémiſpheres ne s'attachent point enſemble tant que l'air qui s'y trouve renfermé demeure dans ſon état naturel, c'eſt-à-dire, auſſi denſe que celui du dehors, parce

que l'effort qu'il fait pour s'étendre & pour écarter ces deux calottes qui lui font obstacle, est précisément égal à celui de l'atmosphere qui les presse extérieurement ; chacune d'elles se trouve en équilibre entre deux puissances de même valeur.

Mais quand cet air intérieur se trouve raréfié par l'action de la pompe, la force de son ressort en est d'autant affoiblie ; l'équilibre est rompu, & l'adhérence des deux hémispheres est proportionnelle à la différence qu'il y a entre la densité de l'air qui presse extérieurement, & celle de l'air qui résiste en dedans ; de sorte que si celui-ci pouvoit être réduit à zéro, il faudroit employer, pour séparer ces deux pieces, un effort un peu plus grand que le poids d'une colonne entiere de l'atmosphere, dont la base auroit six pouces de diamétre, ce qui seroit plus de 400 livres ; en supposant seulement, selon l'évaluation commune, qu'une colonne de l'atmosphere fait une pression de 12 livres sur un espace circulaire d'un pouce de diamétre.

Lorsqu'on a placé la boule vuide

ſous un récipient qui lui ôte toute communication avec l'atmoſphere, ce n'eſt plus, à la vérité, le poids de cet atmoſphere, qui retient les deux hémiſpheres l'un contre l'autre; mais c'eſt la réaction d'une maſſe d'air comprimé précédemment par ce poids, & qui eſt capable des mêmes effets : c'eſt pourquoi ces deux pieces ne ſe ſéparent facilement, que quand on a détendu le reſſort de l'air environnant, en diminuant ſa denſité par pluſieurs coups de piſton, juſqu'à ce qu'il ſoit autant raréfié que celui qui reſte dans la boule.

Si l'air, en rentrant dans le récipient, trouve les deux hémiſpheres rejoints de maniere qu'il ne puiſſe pas s'y introduire & s'y étendre comme dans le reſte du vaiſſeau, il les preſſe de nouveau l'un contre l'autre, par la même raiſon qu'ils avoient été d'abord attachés, & avec autant de force, s'il y a la même différence entre les deux airs, celui du dehors & celui du dedans.

APPLICATIONS.

C'EST en conſéquence des principes dont ont vient de voir les preuves,

X. LEÇON.

que le vuide ſe fait dans un vaiſſeau, par le moyen de la machine pneumatique : car en abaiſſant le piſton d'un bout à l'autre de la pompe, on fait naître un eſpace ſans air, dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de ſon élaſticité ; mais une maſſe d'air qui ſe partage ainſi à deux eſpaces, devient néceſſairement plus rare dans chacun des deux ; c'eſt pourquoi le poids de l'atmoſphere produit en même temps les deux effets ſuivans : 1°. il attache le récipient à la platine, comme on a vû qu'il fait tenir enſemble les deux hémiſpheres de métal : 2°. ſi l'air extérieur ne peut pas rentrer par le haut de la pompe, ce même poids de l'atmoſphere remonte le piſton en partie, c'eſt-à-dire, juſqu'à ce que l'air qui eſt dans la pompe ſoit auſſi denſe que celui de dehors.

Ce dernier effet mérite attention : bien des gens ſe dégoûtent de la machine pneumatique ſimple, par la difficulté qu'ils trouvent à remonter le piſton : on s'épargne une grande partie de cette peine quand on fait la clef du robinet de façon que l'air

puiſſe bien paſſer du dedans au-dehors de la pompe, mais non pas réciproquement : car avec cette précaution*, le piſton ſe releve comme de lui-même ; & il reſte peu de choſe à faire, ſur-tout lorſqu'on approche des derniers degrés de la raréfaction.

X. Leçon.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. pour l'ann.* 1740. p. 413.

Quant à l'adhérence du récipient à la platine, elle augmente à meſure que l'air ſe raréfie ; & cette raréfaction, à chaque coup de piſton, ſuit le rapport des capacités. Si, par exemple, celle de la pompe eſt égale à celle du récipient, au premier coup, la denſité de l'air diminue de moitié, parce que ſon volume devient double, puiſqu'il remplit deux eſpaces ſemblables à celui qu'il occupoit d'abord : au ſecond coup, il ſe raréfie encore dans la même proportion, & par conſéquent ſa denſité eſt réduite au quart, & ainſi de ſuite ; d'où il paroît qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puiſſe être, ne peut jamais évacuer parfaitement l'air du récipient, puiſque la denſité de cet air diminue toujours en proportion géométrique. En un mot, pour ne point ſe faire une idée fauſſe

X. LEÇON.

du vuide qui se fait ainsi, on doit considérer le récipient comme étant toujours plein, mais d'un fluide dont la densité diminue de plus en plus, jusqu'à ce que le ressort de ses parties soit autant détendu qu'il peut l'être, dans un espace où il est peu gêné : je dis peu gêné, pour ne pas dire absolument qu'il ne l'est plus ; car il paroît qu'il l'est encore, quand on a épuisé tous les efforts de la meilleure machine pneumatique, comme on le verra par ce qui va suivre.

Que la raréfaction de l'air, dans le récipient, soit proportionnelle au rapport qu'il y a entre la capacité de ce vaisseau & celle de la pompe ; c'est un fait dont il est facile de s'assurer par l'expérience. Que l'on adapte un barometre à un récipient, dont la capacité soit à celle de la pompe, par exemple, comme 2 à 1, & qu'on l'applique à la machine pneumatique de la maniere qu'on le voit par la *Fig.* 13. au premier coup de piston la densité de l'air sera diminuée d'un tiers ; aussi le mercure descendra d'un tiers de sa hauteur ; en partant de 27 pouces, il sera donc à 18 : au second

coup, l'air ſera d'un tiers encore plus rare qu'il n'étoit après le premier coup; & le mercure deſcendra auſſi du tiers de 18 pouces, c'eſt-à-dire, à 12; & toujours ainſi de la troiſieme partie du dernier reſtant.

Ce fait étant bien conſtaté, on pourra donc trouver tout d'un coup le rapport des capacités entre un récipient quelconque, & la pompe à laquelle on l'applique; & ſi l'on connoît la grandeur abſolue de l'une des deux, cette comparaiſon fera connoître l'autre: car premiérement, ſi le mercure deſcend au premier coup de piſton du quart de ſa hauteur, on peut conclure en toute ſûreté, que la capacité du récipient eſt à celle de la pompe, comme 3 eſt à 1; & 2°. ſi l'on ſait d'ailleurs que la pompe tient une pinte, on ſaura de cette maniere que le récipient en tient trois: cette façon de jauger les vaiſſeaux, pourroit trouver des applications utiles.

On peut auſſi, par ce moyen, eſtimer les degrés de raréfaction de l'air; & il y a long-temps qu'on applique pour cet effet le barométre à la ma-

X.
LEÇON.

chine pneumatique : mais comme d'ordinaire on n'a beſoin de connoître au juſte l'état de l'air, que quand il approche des derniers degrés de raréfaction, on peut alors ſe diſpenſer d'employer un barométre entier, qui ſeroit trop caſuel & toujours fort embarraſſant ; puiſque dans un air très-raréfié le mercure ne garde que quelques pouces ou quelques lignes de hauteur, ont peut regarder le reſte du tuyau qui demeure vuide au-deſſus comme inutile, & le ſupprimer : par ce moyen on a un barométre tronqué qui n'eſt autre choſe qu'un petit ſiphon renverſé, dont la plus longue branche que l'on emplit de mercure, eſt ſcellée hermétiquement par le haut ; & que l'on attache debout ſur un petit pied de plomb avec une régle de bois mince & graduée en pouces & en lignes. *Voyez la Fig.* 14.

Mais ſoit qu'on ſe ſerve de cette eſpece de jauge, ſoit qu'on employe le barométre entier, on ne voit jamais deſcendre le mercure parfaitement à ſon niveau ; il demeure toujours élevé un peu au-deſſus, s'il n'y

a point d'ailleurs quelques causes étrangeres *. On ne doit pas s'en prendre au poids de l'air qui reste dans le récipient : la colonne qui répond à celle du mercure est trop courte, & sa densité est trop diminuée pour avoir une pesanteur sensible ; mais il est naturel de penser que quand l'air est extrêmement raréfié, son ressort quoique suffisant encore pour soutenir une ligne de mercure, est déja trop affoibli pour forcer les frottemens & les vapeurs grasses qui s'opposent à son passage dans le canal étroit du robinet. C'est une petite imperfection dont les machines pneumatiques les mieux faites ne sont point exemptes ; mais ce défaut ne tire point à conséquence ; & quand elles n'ont que celui-là, on peut toujours réduire la densité de l'air à $\frac{1}{336}$ de celle qu'il a quand le barométre marque 28 pouces ; car une bonne pompe abaisse le mercure à-peu-près à une ligne de son niveau, & 28 pouces donnent 336 lignes.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. des Scienc. pour l'an.* 1741. p. 345.

Si l'on entend bien de quelle maniere l'air agit, soit par son poids, soit par son ressort, on expliquera facilement une infinité de faits cu-

X. LEÇON.

rieux que l'usage des machines pneumatiques, & la facilité que l'on a acquise de faire le vuide, ont donné occasion de connoître.

Une vessie dans laquelle on enferme un peu d'air, & que l'on tient dans le vuide, ne manque pas de s'enfler, parce que ce peu d'air qu'elle contient, se raréfie lui-même, à mesure que celui qui l'environne perd de sa densité: & en pareil cas un plomb qui péseroit 12 ou 15 livres ne l'empêcheroit pas de s'enfler, parce qu'il ne seroit point équivalent à la pression de l'air qu'on fait cesser d'agir autour d'elle dans le récipient.

Par la même raison, une bouteille de verre mince & pleine d'air que l'on a bien bouchée, creve dans le vuide, parce que rien ne fait plus équilibre au ressort de l'air qu'elle contient, & qui fait un effort continuel pour se déployer.

Un œuf placé dans un gobelet se vuide par un fort petit trou que l'on fait en sa partie inférieure, quand on raréfie l'air qui l'environne; il se remplit aussi par le même trou quand on laisse rentrer l'air dans le récipient;

c'eſt qu'un œuf, ſur-tout s'il eſt vieux, contient de l'air qui ſurnage dans l'endroit le plus élevé de la coque, à cauſe de ſa légéreté : cet air s'étend & chaſſe devant lui la matiere propre de l'œuf, à meſure qu'on diminue la preſſion de l'air extérieur avec lequel il étoit d'abord en équilibre ; dès qu'on rend l'air dans le récipient, ſa preſſion fait rentrer tout ce qui eſt ſorti de la coque, & reſſerre l'air intérieur dans le premier eſpace qu'il occupoit.

Cette explication devient ſenſible, ſi dans une phiole pleine d'eau dont on plonge l'orifice dans un vaſe, on laiſſe une bulle d'air qui ne manque pas d'occuper la partie ſupérieure, & qu'on faſſe paſſer le tout dans le vuide. *Voyez la Fig.* 15. Car, à meſure qu'on raréfie l'air du récipient, on voit que la bulle s'étend de plus en plus (*a*), & qu'elle précipite l'eau qui eſt renfermée avec elle juſqu'au

(*a*) Par une pareille expérience, M. Mariotte conclut que l'air, en partant de l'état où il eſt à la ſurface de la terre, peut remplir un eſpace 4000 fois plus grand que celui qu'il a coutume d'occuper. *De la nature de l'Air*, p. 173.

X. LEÇON.

dessous du niveau ; après quoi si l'air vient à rentrer dans le récipient, la liqueur remonte, & l'air reprend son premier volume au-dessus d'elle.

Une vieille pomme se déride dans le vuide, parce que l'air qui est sous la peau s'étend & la souleve ; mais elle devient plus ridée qu'auparavant quand elle sort du vuide, parce que l'air qu'elle contenoit en se mettant au large, en est sorti en partie, & qu'il en reste d'autant moins, pour résister à la pression de l'air extérieur, ce qui fait augmenter les plis de la peau.

Il seroit superflu de rapporter ici toutes les expériences de cetre espece qui ont été faites, & qui feroient plutôt un spectacle agréable & amusant, qu'un concours de preuves nécessaires pour confirmer ou pour éclaircir les principes, que nous croyons avoir établis assez solidement : il suffit qu'on entende bien quelques-uns de ces faits ; tous les autres deviennent faciles à expliquer.

MAIS après avoir fait connoître le ressort de l'air tendu par le poids de l'atmosphere, & les differens degrés

de raréfaction dont ce fluide est susceptible, en partant de l'état où il est communément à la surface de la terre, il est à propos maintenant de faire voir combien on peut augmenter sa densité & son ressort, lorsqu'on le soumet à une pression plus grande que celle de l'atmosphere.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 16. représente un vaisseau de cuivre que l'on remplit d'eau environ jusqu'aux deux tiers de sa capacité : on y joint ensuite le canal *N O*, garni d'un robinet qui s'ajuste à vis au vaisseau, & dont le bout inférieur *O*, qui est ouvert, descend à une ligne près du fond. On adapte en *N*, la petite pompte foulante *P R*, *Fig.* 17. avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air; après quoi le robinet étant fermé, on ôte la pompe pour visser en sa place un ajutage percé d'un ou de plusieurs trous.

La pompe prend l'air par un trou pratiqué en *P*, au-dessus duquel on éléve le piston ; & ce même piston,

X. LEÇON.

en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, & sur lequel on a mis une soupape en-dehors, pour empêcher que l'air ne revienne dans la pompe quand on éléve de nouveau le piston.

EFFETS.

Dès que l'on ouvre le robinet, l'eau sort du vaisseau en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur de 25 ou 30 pieds, & qui baisse sur la fin.

EXPLICATIONS.

La quantité d'air qu'on force d'entrer dans le vaisseau remonte d'abord à travers l'eau, à cause de sa légéreté, & va se joindre à celui qui occupe la place *LQ*, dont il augmente d'autant la densité : cet air ainsi comprimé a une force élastique beaucoup plus grande que le poids de l'air extérieur qui résiste à l'orifice *N* du canal. Cette force se déploye sur la surface de l'eau, & la chasse par le canal qui est ouvert, avec d'autant plus de vîtesse qu'il y a de différence entre la densité de l'air qui est renfermé dans le vaisseau, & celle de l'air extérieur : & comme cet

air

air qui chasse l'eau se trouve plus au large à mesure que le vaisseau se vuide, son ressort s'affoiblit de plus en plus; & par cette raison le jet en devient moins élevé vers la fin.

X. LEÇON.

Si l'on avoit lieu de douter que l'effet dont il s'agit ici ne vînt, comme nous le disons, d'un défaut d'équilibre entre l'air du vaisseau & celui du dehors; il seroit aisé de s'en convaincre par une expérience assez jolie, & qui mérite d'être rapportée.

On peut cimenter un tuyau de verre, qui finisse en pointe à une bouteille de même matiere, de sorte qu'elle soit en petit ce qu'est en grand le vaisseau de cuivre de l'expérience précédente : si l'on renverse cette bouteille dans un gobelet plein d'eau, & qu'on couvre le tout d'un récipient sur la platine d'une machine pneumatique, comme dans la *Fig*. 18. à mesure qu'on fera le vuide, on verra sortir de la bouteille une partie de l'air qui formera des bouillons dans l'eau du gobelet ; & ensuite lorsqu'on laissera rentrer l'air dans le récipient, sa pression poussera dans la bouteille autant d'eau qu'il en sera sorti d'air

X. LEÇON.

Je ne m'arrête point à expliquer ces deux premiers effets, on doit les entendre par ce qui a été dit ci-dessus. Mais si l'on redresse la bouteille, comme dans la *Fig.* 19. & qu'on raréfie de nouveau l'air du récipient, celui qui est au-dessus de l'eau venant à se raréfier lui-même, fera naître un jet qui s'élevera d'autant plus, qu'on aura rompu davantage l'équilibre entre les deux airs. Ici ce n'est pas l'air comprimé artificiellement qui force la résistance du poids de l'atmosphere, comme dans l'expérience précédente; mais c'est le ressort naturel de ce fluide que l'on met en état d'agir, en affoiblissant celui qui lui résiste à l'orifice de la bouteille: c'est toujours un air plus fort contre un air plus foible, en un mot, de l'eau entre deux portions d'air qui ne sont plus en équilibre.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 20. représente une espece d'arquebuse composée de deux canons de métal, placés l'un dans l'au-

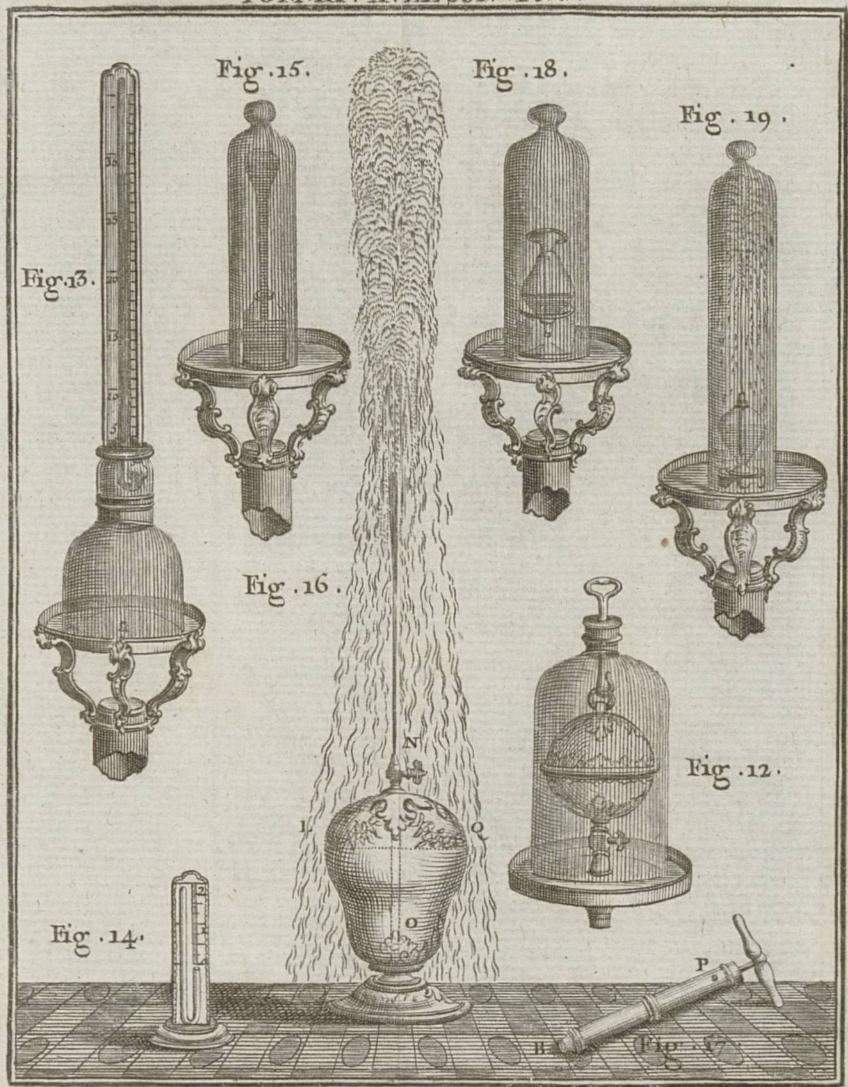


Fig. 15.
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 13.
Fig. 16.
Fig. 12.
N
I
Q
O
Fig. 14.
P
Fig. 17.

tre, & entre lesquels il reste un espace bien fermé où l'on condense fortement l'air par le moyen d'une petite pompe foulante qui est logée dans la crosse. Il y a deux soupapes ; savoir, une au bout de la pompe, pour empêcher que l'air n'y revienne, quand on tire le piston; & l'autre au bout du canon intérieur du côté de la culasse, où l'on a soin de placer une balle de calibre. La derniere de ces soupapes se leve par le moyen d'une détente, pour laisser passer l'air dans le petit canon, & se referme très-promptement, pour n'en faire échapper qu'une partie. Comme ces sortes d'armes ne sont pas fort en usage, j'ai fait construire celle dont je me sert, de maniere qu'on ne courût aucun risque en mettant les balles, & qu'on pût les ôter de même, sans être obligé de décharger l'air ; pour cet effet, il y a un canal ou réservoir qui contient 12 balles, & une espece de robinet que l'on tourne, pour les placer successivement dans la direction du petit canon, ou pour les déplacer si l'on ne veut pas tirer. Pour conserver à cet instrument toute la forme ex-

X. LEÇON.

térieure d'un fuſil, on l'a garni d'une platine dont la batterie ſert à tourner la clef du robinet, & le mouvement du chien fait lever la ſoupape.

Effets.

Le chien étant armé, dès qu'on le détend, la balle eſt chaſſée avec tant de force, qu'on peut l'ajuſter aſſez bien à 70 pas dans un cercle d'un pied de diamétre.

Les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers: mais communément le huitieme perce encore une planche de chêne épaiſſe de 6 lignes, & placée à la diſtance de 20 ou 25 pas.

L'air & la balle, en ſortant, font peu de bruit, ſur-tout ſi le lieu où l'on eſt, n'eſt point fermé; ce n'eſt qu'un ſoufle violent qu'on entend à peine à 30 ou 40 pas,

Explications.

Après l'explication que j'ai donnée de l'expérience précédente, la ſeule préparation de celle-ci, doit ſuffire pour en faire entendre les effets: l'air condenſé entre les deux

canons fait effort pour en ſortir ; dès qu'on lui donne ſon paſſage par le petit canon, il emporte tout ce qu'il y rencontre : la balle reçoit donc une vîteſſe preſqu'égale à celle avec laquelle cet air commence à s'échapper. Mais comme la ſoupape ne demeure ouverte qu'un inſtant, il ne s'en échappe à chaque fois qu'autant qu'il en faut pour faire partir une balle : cependant les dernieres ſont pouſſées plus foiblement, parce que le reſſort de l'air diminue à meſure que ce qu'il en ſort lui laiſſe plus de place pour s'étendre. Le bruit eſt incomparablement plus foible que celui d'une arme à feu ; parce que ni la balle, ni l'air qui la pouſſe, ne frappent jamais l'air extérieur avec autant de violence & de promptitude qu'une charge de poudre enflammée, dont l'exploſion ſe fait toujours avec une vîteſſe extrême. L'arquebuſe à vent ſe fait pourtant plus entendre dans un lieu fermé, que dans un endroit découvert, parce qu'alors la maſſe d'air qui eſt frappée étant appuyée & contenue par des murailles ou autrement, fait une plus grande réſiſtance.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

LES fuſils, piſtolets, ou cannes à vent, ſont des inſtrumens plus curieux qu'utiles ; la difficulté de les conſtruire, celle de les entretenir long-temps en bon état, les rend néceſſairement plus chers, & d'un ſervice moins commode & moins ſûr que les fuſils à poudre ordinaires : le ſeul avantage qu'on y pourroit trouver, je veux dire celui de frapper ſans être entendu, pourroit devenir dangereux dans la ſociété ; & c'eſt une précaution fort ſage de reſtraindre le plus qu'il eſt poſſible l'uſage de ces ſortes d'inſtrumens. Ceux qui les aiment en parlent ſouvent avec enthouſiaſme, & leur font plus d'honneur qu'ils n'en méritent, en leur attribuant des effets dont ils ne ſont pas capables : il n'eſt point vrai, par exemple, qu'ils ayent jamais autant de force qu'une arme à feu ; & c'eſt une choſe fort rare que les ſoupapes tiennent l'air aſſez conſtamment, pour les garder long-temps chargés.

Si les hiſtoires qu'on fait de la *pou-*

dre blanche ont quelque réalité, on doit ſans doute les entendre dans le ſens figuré, du fuſil à vent, qui eſt capable de porter un coup aſſez meurtrier ſans faire un bruit conſidérable; car comme le bruit d'un fuſil ne vient point de la couleur de la poudre, mais qu'il eſt une ſuite néceſſaire de l'exploſion ſubite dont elle eſt capable, on doit croire que toute matiere qui ſe dilatera avec la même vîteſſe, qu'elle ſoit blanche ou noir, éclatera de même.

Quant aux fontaines artificielles où l'eau reçoit ſon movement du reſſort de l'air, on les peut varier de cent manieres différentes, plus curieuſes & plus agréables les unes que les autres: elles le ſont d'autant plus qu'on y voit l'eau s'élever au-deſſus de ſa ſource, tout au contraire des jets ordinaires, qui ſe font, comme on ſait, par une chûte d'eau, dont le réſervoir eſt plus haut. Je me contenterai d'un ſeul exemple, pour ne point m'arrêter infructueuſement à des choſes qui ſe trouvent dans tous les livres de Phyſique.

La fontaine qui eſt repréſentée par

X. LEÇON.

la *Fig.* 21. porte le nom d'Hero, à qui l'on en attribue l'invention ; on la conſtruit communément de deux baſſins ou boîtes de métal que l'on joint par des tuyaux de même matiere : celle-ci eſt faite de verre, afin qu'on en apperçoive mieux le méchaniſme : la matiere & la forme extérieure ſont tout-à-fait indifférentes, on les peut varier ſelon ſon goût. Pour mettre cette fontaine en jeu, j'emplis d'eau juſqu'aux trois quarts le globe *AB*, par le canal *CD*, qui eſt ouvert de part & d'autre ; j'en mets enſuite dans le baſſin *GH*, pour tenir toujours plein le tuyau *IK*, qui eſt ouvert d'un bout à l'autre. Cette colonne d'eau qui tend à ſe répandre dans le globe inférieur *EF*, charge de tout ſon poids la maſſe d'air dont il eſt plein : cet air ainſi comprimé s'échappe par le canal *LM*, & exerce ſa preſſion ſur la ſurface de l'eau qui eſt en *AB* ; & enfin cette eau preſſée par l'air, s'élance en forme de jet par le canal *CD*, au bout duquel, on met un ajutage percé, ſi l'on veut, de pluſieurs trous pour former une gerbe d'eau.

Il ſuffit de mettre d'abord un peu d'eau dans le baſſin pour emplir le tuyau *IK*; le jet qui naît auſſi-tôt, fournit aſſez pour l'entretenir plein, & l'écoulement qui ſe fait ainſi du globe *A B*, retombe dans celui d'en-bas, que l'on vuide après l'opération par une eſpece de robinet qui eſt deſſous.

X. LEÇON.

On fait uſage auſſi du reſſort de l'air comprimé, pour rendre continuel l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piſton : ſuppoſons, par exemple, que la pompe aſpirante & foulante *n o p*, *Fig.* 22. ſoit enveloppée d'un vaiſſeau cylindrique de métal, qui forme autour d'elle un eſpace bien fermé *Q R S*, qui communique avec le tuyau montant *TV*.

Quand l'eau élevée par l'aſpiration ſous le piſton ſera forcée enſuite par la compreſſion de paſſer par la ſoupape qui eſt en *o*, non-ſeulement elle s'élevera dans le tuyau, mais elle montera auſſi vers *QR*, dans l'eſpace qui eſt autour de la pompe, & en s'élevant ainſi elle tendra le reſſort de l'air qui ſera entr'elle & le fond de cette cavité. C'eſt pourquoi

X. LEÇON.

pendant qu'on remontera le piston, pour faire une nouvelle aspiration, la réaction de cete masse d'air comprimé suppléera à la pression du piston, & fera continuer l'écoulement en *V*.

Par ce moyen on gagne certainement en vîtesse ; car le tuyau *TV*, fournissant de l'eau sans interruption, il en passe une plus grande quantité dans un certain temps : mais cet avantage ne s'acquiert qu'aux dépens de la force, qui doit être plus grande de la part du moteur, puisqu'il en faut non-seulement pour porter le poids de l'eau qui pése en *T*, mais aussi pour comprimer l'air dont on veut tendre le ressort. Au reste il y a bien des cas où il est important de fournir de l'eau sans interruption ; & c'est pour cette raison que l'on construit ainsi ces petites pompes portatives si fort en usage en Angleterre, en Hollande, & depuis quelques années à Paris, avec lesquelles chaque particulier peut arrêter au moins le progrès d'un incendie naissant, en attendant des secours plus puissans.

Depuis l'invention de la machine

pneumatique, on a fait une grande quantité d'expériences dans le vuide ou dans l'air raréfié à différens degrés : il étoit naturel de penſer qu'il y en avoit beaucoup à faire auſſi dans l'air condenſé au-deſſus de ce qu'il l'eſt communément, & pluſieurs Phyſiciens ont déja mis la main à l'œuvre. On ſe ſert, pour ces ſortes d'épreuves, d'un vaiſſeau capable d'une grande réſiſtance, & l'on y fait entrer de l'air à force avec une petite pompe ſemblable à celle dont nous avons fait uſage ci-deſſus pour la fontaine de compreſſion *. Mais l'air qui paſſe ainſi par une pompe ſe charge de vapeurs graſſes & humides ; & il y a bien des cas où il ſeroit à ſouhaiter qu'il fût plus pur, afin que ce qui réſulte de l'expérience ne puiſſe être attribué à rien autre choſe qu'au degré de compreſſion qu'on lui a fait prendre, à la denſité de ſa propre matiere. Cette conſidération m'a fait imaginer une nouvelle machine, avec laquelle on pourra comprimer l'air, sans diminuer le degré de pureté qu'il a dans l'atmoſphere, ou même en l'augmentant : lorſque

X. LEÇON.

* *Fig.* 17.

X. LEÇON.

j'y aurai mis la derniere main, ſi elle en mérite la peine, j'en ferai part au public dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, à la ſuite des inſtrumens qui ſervent aux expériences de l'air, dont j'ai commencé la deſcription.

Il paroît par les expériences de Boyle, qu'on peut, par compreſſion, rendre le volume d'une maſſe d'air 13 fois plus petit qu'il n'eſt dans ſon état naturel à la ſurface de la terre. D'autres Philoſophes ont porté depuis cette épreuve plus loin par différens procédés : celui qui paroît avoir le plus fait à cet égard, eſt M. Hales, qui dit *. avoir réduit l'air à la 1837°. partie de ſon volume ordinaire (*a*) ; ſurquoi M. Muſchenbroek fait une réflexion qui paroît fort judicieuſe. « L'air, par cette ex-» périence, eſt devenu, dit-il, plus

* *Stat. des végét. dans l'append. p.* 390.

(*a*) Il y a de l'obſcurité dans le calcul de M. Hales ; M. de Buffon ſon traducteur trouve qu'il faut corriger le réſultat, en comptant 1551, au lieu de 1837. Par la traduction Italienne que Mademoiſelle Ardinghelli a faite de ce même ouvrage, il paroît que M. Halles a compté avoir réduit l'air à la 1598e. partie du volume qu'il a dans l'atmoſphere.

X. LEÇON.

» de deux fois aussi pesant que l'eau ; » ainsi comme l'eau ne peut être com- » primée, il paroît de-là que les par- » ties aëriennes doivent être d'une » nature bien différente de celle de » l'eau ; car autrement si l'air étoit de » même nature, on n'auroit pû le ré- » duire qu'à un volume 800 fois plus » petit ; il auroit donc été alors pré- cisément aussi dense que l'eau, & » il auroit aussi résisté à toutes sortes » de pressions avec une force égale à » celle qu'on remarque dans l'eau. »

M. Hales à cette occasion propose une espece de jauge, propre à mesu- rer les hauteurs de la mer ; mais com- me la regle de M. Mariotte sur la condensabilité de l'air, n'est juste que dans les degrés moyens de com- pression, & qu'on ne sait point en quelle proportion ce fluide se com- prime dans les degrés extrêmes, cette jauge ne pourroit pas avoir lieu.

M. Amontons, bien loin de révo- quer en doute cette grande conden- sabilité de l'air, l'a supposée bien avant qu'on la connût par expérien- ce, comme un principe par lequel on peut expliquer, selon lui, certains

X. LEÇON.

mouvemens inteſtins de notre globe ; car après avoir prouvé que le reſſort de l'air animé par la chaleur, eſt d'autant plus fort que ce fluide a plus de denſité, il ne doute pas que les tremblemens de terre ne puiſſent être excités par des maſſes d'air ſouterrein qui ſe dilatent, & il fait voir que la partie inférieure d'une colonne de l'atmoſphere prolongée de 18 lieues vers le centre de la terre, auroit, à cette profondeur, une denſité égale à celle du mercure *.

* *Mem. de l'Académie*, 1703. p 101.

LES expériences précédentes & les obſervations que nous y avons jointes, ont appris comment l'air change de denſité, & de quelle maniere ſon reſſort augmente ou diminue par une preſſion plus ou moins grande : il reſte à ſavoir maintenant, quels effets produiſent le chaud & le froid ſur ce fluide.

Ce n'eſt point ici le lieu d'examiner quelle eſt la nature du feu, ni comment il agit ſur les corps ; ces queſtions ſeront traitées dans la ſuite de cet ouvrage avec l'étendue qui leur convient ; nous dirons ſeulement par anticipation, & pour faci-

liter l'intelligence des effets que nous avons à expliquer présentement, 1°. que le froid n'est, ni un être réel, ni une qualité positive, mais seulement l'état d'un corps qui est actuellement moins chaud qu'il ne l'a été ou qu'il ne le peut être, de sorte qu'il n'y a rien dans la nature qui soit absolument froid : la glace, par exemple, n'est froide que par comparaison à l'eau dont elle est formée, ou à quelque corps plus chaud qu'elle ; c'est une *vérité* que nous développerons davantage dans la suite, & que nous appuyerons de toutes les preuves nécessaires. 2°. On peut considérer la chaleur, comme l'effet d'une matiere extrêmement subtile, dont l'abondance ou l'action tient écartées les unes des autres les parties propres du corps qu'elle pénétre, & leur communique une partie de son mouvement.

En se représentant la chaleur sous cette idée, on concevra facilement deux effets très-remarquables qu'elle produit dans une masse d'air, & que nous allons faire connoître par des expériences. Le premier de ces effets

X. LEÇON.

eſt, qu'elle en augmente le volume, c'eſt-à-dire, qu'une même quantité d'air eſt capable d'occuper plus ou moins de place, quand elle eſt plus ou moins échauffée; le ſecond effet de la chaleur de l'air, eſt d'augmenter ſon reſſort, à proportion de la preſſion dont il eſt chargé, de ſorte qu'un même degré de chaleur appliqué à un même air doublement ou triplement condenſé, lui donne un reſſort double ou triple, comme on le verra par le détail des faits qui vont être rapportés.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

PARMI pluſieurs tubes de verre, tels que ceux dont on fait les barométres, il en faut choiſir un qui ait environ un pied ou 15 pouces de longueur, & qui ſoit par-tout d'un diamétre égal; ce que l'on connoîtra facilement, en faiſant aller d'un bout à l'autre une petite colonne de mercure: car ſi elle eſt toujours de la même longueur dans tous les endroits du tube où elle ſe trouvera, c'eſt

une marque que la capacité eſt égale dans toutes les parties ſemblables. Enſuite il faut ſceller hermétiquement une des extrémités, & le placer ſur des charbons ardens, pour le faire chauffer juſqu'à rougir; alors on le prend avec des pinces pour plonger promptement le bout qui eſt ouvert, dans du mercure bouillant, & on laiſſe le tout refroidir. *Voyez la Fig.* 23.

Pour donner un degré de réfroidiſſement connu, on met pendant quelques minutes le bout qui eſt ſcellé, dans de la glace pilée, obſervant néanmoins que le tube ſoit dans une ſituation preſque horizontale, afin que l'air qui y reſte ne ſoit preſque point comprimé par le poids du mercure qui le tient enfermé.

EFFETS.

Le tube rougi au feu, & plongé dans le mercure, s'en remplit en partie; & quand il a été quelque temps dans la glace, la portion d'air qui eſt contenue entre le bout ſcellé & le mercure, occupe à peu-près le tiers de la longueur du tuyau.

EXPLICATIONS.

X. LEÇON.

Le tuyau de verre, avant que d'être chauffé, étoit rempli d'une colonne d'air semblable à celui de l'atmosphere : les parties de cette matiere qui fait la chaleur, quelle qu'elle soit, ayant pénétré le verre, & s'étant mêlées avec l'air, ont écartée les parties propres de ce fluide, & son volume, pour cette raison, s'est augmenté considérablement ; mais comme la capacité du tuyau ne s'est point aggrandie proportionnellement, une grande partie de l'air en est sortie, & le tube est resté plein d'un peu d'air très-raréfié, & d'une grande quantité de la matiere du feu.

Ce tube ayant été plongé dans le mercure, a commencé à se refroidir, c'est-à-dire, que cette matiere étrangere qui avoit pénétré le verre pour se mêler avec l'air, s'est évaporée, ou qu'elle a perdu peu à peu la plus grande partie de son mouvement, ce qui a donné lieu aux parties de l'air de se rapprocher ; d'autant plus que le poids de l'atmosphere appuyant sur la surface du mercure, l'a obligé

d'entrer dans ce tube, & de s'y avancer, jusqu'à ce que le peu d'air qui y étoit resté, eût acquis par une diminution suffisante de son volume, assez de densité pour lui résister.

On voit donc par oette expérience, qu'une certaine quantité d'air qui a la température de la glace & qui est soumise au poids de l'atmosphere, n'a que le tiers du volume qu'elle a sous la même pression, mais dans une chaleur capable de faire rougir le verre; ou, ce qui est la même chose, que le volume de l'air dilaté par ce degré de chaleur est à celui qu'il a dans le froid de la glace, comme 3 à 1.

Par des expériences à peu-près semblables, on a trouvé que le volume de l'air lorsqu'il commence à geler, est à celui qu'il a dans la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 à 3, & qu'il se dilate environ d'un septiéme à compter depuis le froid de la glace commençante, jusqu'à nos chaleurs communes d'été, qui sont à peu-près de 25 degrés au thermométre de M. de Réaumur.

Mais dans ces sortes d'expériences, sur-tout lorsqu'on chauffe l'air consi-

dérablement, on trouve ſouvent des différences bien conſidérables, ſuivant l'état actuel de l'air ſur lequel on opere, ou des vaiſſeaux qu'on employe; car c'eſt un fait, que l'humidité ſe joignant à l'air que l'on fait chauffer, elle occaſionne une dilatation, qui eſt quelquefois 10 ou 12 fois plus grande qu'elle ne ſeroit avec le même degré de chaleur, ſi l'on employoit un air plus ſec.

D'ailleurs, comme l'air eſt plus denſe ou plus comprimé dans un tems que dans un autre, les réſultats varient auſſi ſelon la hauteur actuelle du barométre, qu'on ne doit pas négliger de conſulter en pareil cas.

APPLICATIONS.

C'EST en dilatant l'air par une chaleur violente, que l'on fait crever avec éclat ces petites empoules de verre minces, qu'on ſouffle à la lampe d'un émailleur, & qu'on ſcelle hermétiquement : l'effet en eſt plus ſûr & plus grand, quand on y renferme une petite goutte d'eau, non-ſeulement parce que l'humidité procure une plus grande dilatation, mais auſſi

parce que la fraîcheur de la liqueur empêche que le verre ne s'amollisse au grand feu, & ne se prête sans rompre, à l'extension du fluide renfermé. Quand on met ces pétards à la bougie pour surprendre quelqu'un, on doit craindre que les éclats de verre ne sautent aux yeux, & n'incommodent ceux qui ne sont point en garde. Les châtaignes ou les marons qui crevent sous la cendre chaude, ne sont pas si dangereux, mais c'est encore un effet qui dépend de la même cause; l'air renfermé sous l'écorce se dilate, & la fait crever, quand on n'a point pris la précaution de l'entamer; plus elle résiste, plus sa rupture est éclatante.

Dans la premiere leçon *, j'ai fait mention d'une petite cassolette de verre que j'ai supposé être en partie pleine d'une liqueur odorante; mais je n'ai point dit alors comment on s'y prend pour emplir ce petit vase, dont le col & l'orifice sont tellement étroits, qu'il n'y a pas moyen de penser à faire usage d'un entonnoir. On vient facilement à bout de cette opération, si l'on chauffe cette petite

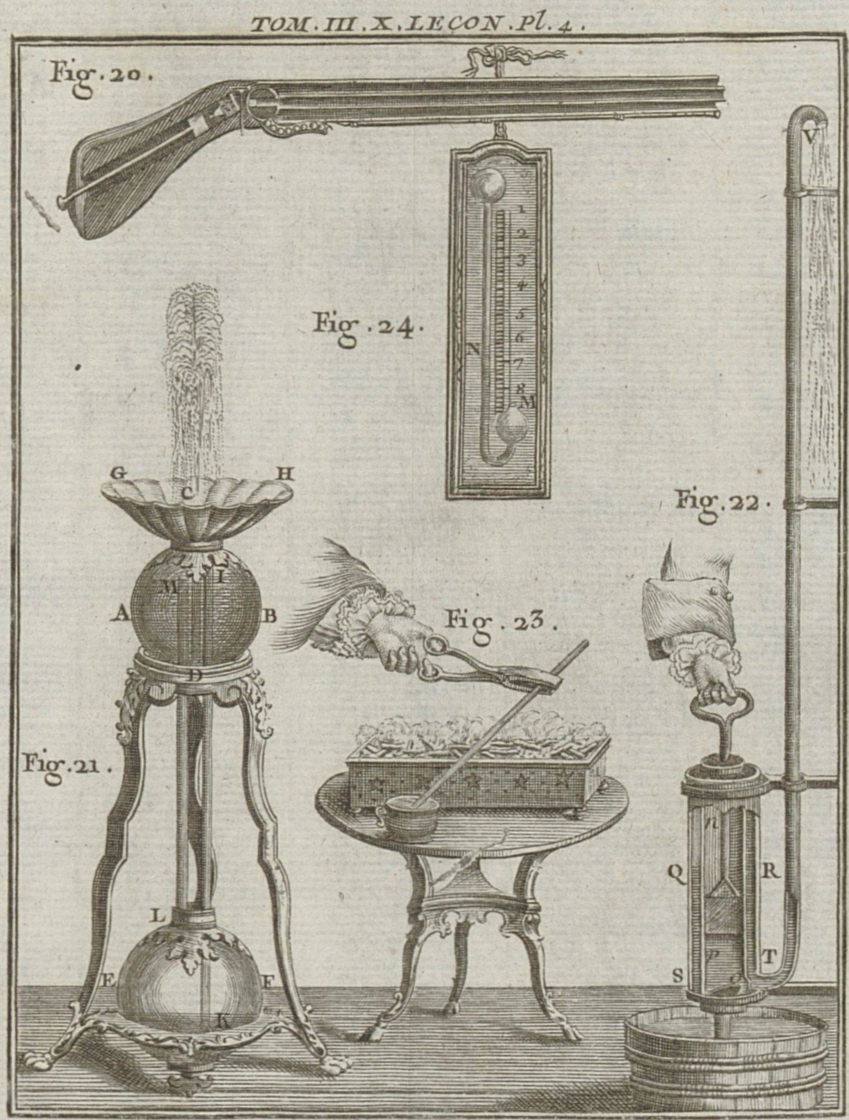
* Prem. Sect. III. Exp. p. 27.

X. LEÇON.

bouteille, & qu'on plonge auſſi-tôt ſon ouverture dans la liqueur qu'on y veut introduire ; car en dilatant l'air par la chaleur, on en fait ſortir une grande partie, & ce qui reſte, venant enſuite à ſe condenſer à meſure qu'il ſe refroidit, laiſſe un vuide où le poids de l'atmoſphere porte la liqueur, comme il eſt arrivé à l'égard du tube qui a été employé dans l'expérience précédente.

C'eſt auſſi de cette maniere qu'on emplit les verres des thermométres, dont les tuyaux ſont ordinairement ſi menus, qu'on ne pourroit jamais y faire entrer la liqueur par tout autre moyen, à moins que d'y employer beaucoup de tems. La dilatation de l'air même, ne ſeroit encore qu'un moyen imparfait dans ces ſortes de cas où il s'agit d'emplir entiérement le vaiſſeau, puiſqu'une très-grande chaleur ne peut faire ſortir qu'environ les deux tiers de l'air; mais on y en joint un autre dont nous parlerons par la ſuite, & qui procure une évacuation d'air beaucoup plus complette.

A propos des thermométres, ce-


Fig. 20.
Fig. 24.
1
2
3
4
5
6
7
8
N
M
V
Fig. 22.
G
H
C
M
I
A
B
D
Fig. 23.
Fig. 21.
L
E
F
K
n
Q
R
p
S
T

lui de Sanctorius, qui est représenté par la *Fig.* 24. produit encore ses effets en conséquence de la dilatabilité de l'air. Lorsqu'on applique la main à la boule d'en haut, l'air qu'elle contient, & qui remplit une partie du tuyau jusqu'en *N*, s'échauffe, se dilate, & fait descendre dans le réservoir d'enbas, une liqueur colorée, dont la marche devient sensible, & peut se mesurer par la graduation qui est sur la planche. Si l'air que l'on a échauffé se refroidit ensuite, il se condense, & la même liqueur poussée par le poids d'une colonne de l'atmosphere qui répond en *M*, remonte vers la boule; ce qui devient remarquable par les degrés de l'échelle qu'elle parcourt de bas en haut; nous reprendrons l'histoire de cet instrument, lorsque nous parlerons de ceux qui servent à mesurer les degrés de chaud & de froid.

Comme on fait jaillir l'eau par la compression de l'air, on peut de même employer sa dilatation pour former des fontaines qui amusent les curieux: ces principes de mouvemens auroient des applications sans fin;

X. LEÇON.

mais le recueil qu'on en pourroit faire n'entre point dans le dessein de cet ouvrage, je me borne à deux exemples par lesquels on pourra juger des autres. *AB*, *Fig.* 25. est un vase de verre étranglé & ouvert en haut & en bas, dont la patte est arrêtée sur le dessus d'une caisse *CD*, formée en piedestal : on a cimenté en *A*, un petit tuyau *EF*, qui d'une part finit en pointe comme un ajutage, & dont l'autre bout touche à quelques lignes près, le fond du vase. Un autre tuyau qui aboutit en *G*, & qui est ouvert, passe dans l'étranglement *B*, où il est cimenté, & à travers du piedestal, pour se joindre à une espece de ballon de cuivre mince, auquel il est soudé. La caisse *CD*, est garnie de plomb par dedans; & le dessus qui peut se lever, s'attache avec des crochets.

Le ballon de cuivre ne contient que de l'air; le vase *AB*, est rempli d'eau, environ jusqu'aux trois quarts de sa capacité, & l'on verse de l'eau bouillante dans la caisse *CD*, par un trou qui est pratiqué au-dessus, & dans lequel on place un entonnoir.

L'air du ballon étant échauffé par l'eau

l'eau bouillante dans laquelle il se trouve plongé, se dilate par le canal *G*; & pressant par son ressort la surface de l'eau qui est dans le vase *A B*, il la fait sortir en forme de jet par le petit canal *E*. Il faut que le ballon de cuivre soit au moins deux fois aussi grand que le vase *A B*; car, comme nous l'avons dit ci-dessus, l'air ne se dilate que d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante, & l'eau ne peut pas bouillir dans la caisse qui contient le ballon.

On pourra faire un petit jet semblable à celui qui est représenté par la *Fig.* 19. si, au lieu de placer la bouteille dans le vuide, on la plonge dans un bain d'eau bouillante : mais alors il est à propos que cette bouteille soit de métal, de crainte que la chaleur subite, ou la grande dilatation de l'air ne la fasse crever.

Si l'on veut faire un jet de feu, on se servira d'esprit-de-vin ou de bonne eau-de-vie, & l'on tiendra pendant quelques minutes l'orifice du vaisseau bouché avec le bout du doigt ou autrement, pour donner le temps à la liqueur de s'échauffer un peu ; &

avec la flamme d'une bougie on allumera le jet lorſqu'il partira. *Voyez la Fig.* 26.

ON vient de voir que la chaleur augmente le volume de l'air quand il eſt libre de s'étendre ; on apprendra par ce qui ſuit, que la même cauſe augmente ſon reſſort, lorſque le volume eſt fixé par des obſtacles.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ABC, *Fig.* 27. eſt un tube de verre qui a un peu plus de 4 pieds de longueur, environ une ligne de diamétre intérieurement, recourbé par en bas, & terminé par une boule creuſe & mince, qui a 4 ou 5 pouces de diamétre. On y fait couler du mercure, pour emplir ſeulement la courbure *DBC*, & de maniere que l'inſtrument étant debout, cette liqueur ſoit en équilibre avec elle-même dans les deux branches; on juge bien que pour cet effet, il faut que l'air de la boule ne ſoit pas plus condenſé que celui de l'atmoſphere au moment de l'expérience. Enſuite on ajoute du

mercure dans la partie *A D* du tuyau, jusqu'à ce qu'il y en ait une colonne de 28 pouces, à compter du niveau, c'est-à-dire, de la ligne *D C*; & l'on plonge toute la partie inférieure dans un bain d'eau bouillante, de telle sorte que la boule en soit entiérement couverte.

X. LEÇON.

EFFETS.

L'instrument étant ainsi plongé, le mercure s'éleve de 18 pouces & quelques lignes dans la branche la plus longue, ce qui fait une colonne d'environ 46 pouces, à compter du niveau du mercure dans la plus courte branche.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'il n'y a du mercure que dans la courbure du tuyau, & qu'il n'est pas plus élevé dans une branche que dans l'autre; l'air de la boule est, par son ressort, en équilibre avec le poids de l'atmosphere, qu'on suppose équivalent à 28 pouces de mercure, pendant le temps de l'expérience. Les 28 pouces de mercure qu'on ajoute ensuite dans la longue branche, dou-

X. LEÇON.

blent donc cette pression, & par conséquent la densité de l'air qui est dans la boule : si cet air ainsi comprimé & plongé dans l'eau bouillante, devient capable de porter encore 18 pouces & 8 lignes de mercure, c'est une preuve que ce degré de chaleur augmente son ressort d'un tiers; car 18 pouces 8 lignes font justement la troisieme partie de 56, somme de la double pression dont l'air est chargé avant l'immersion.

Comme les 18 pouces & 8 lignes de mercure s'élevent dans la longue branche aux dépens de celui qui est dans la plus courte, le volume de l'air échauffé augmente toujours un peu pour deux raisons; 1ment, parce que le mercure qui passe dans l'autre branche, lui laisse un peu de place pour s'étendre; 2ment, parce que le verre se dilate par la chaleur, & que la capacité de la boule, devient nécessairement un peu plus grande, comme nous le ferons voir ailleurs : c'est pourquoi la densité de l'air diminuant un peu, la force de son ressort augmenté par la chaleur, n'est pas tout-à-fait aussi grande qu'elle le

feroit, fi le volume demeuroit conftamment dans fes bornes; ainfi l'augmentation de la colonne de mercure au-deffus des 28 pouces ne va jamais jufqu'à 18 pouces 8 lignes; mais il ne s'en faut que d'une petite quantité, quand on fe fert d'un tuyau fort menu, par comparaifon à la capacité de la boule.

X. LEÇON.

C'eft donc un fait inconteftable, que la force du reffort de l'air augmente d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante: mais quelle eft la raifon de ce fait, & comment arrive-t-il que les parties de l'air échauffé acquierent plus de roideur? c'eft ce que l'expérience n'apprend point. On peut dire cependant, en raifonnant par des conjectures affez plaufibles, que * »l'action de la chaleur confifte, com»me nous l'avons déja dit, en une »infinité de petites particules très»agitées, qui pénétrent les corps. »Quand elles entrent dans une maf»fe d'air, elles en ouvrent & elles »en développent les lames fpirales, »non-feulement parce que ce font »de nouveaux corps qui fe logent »dans leurs interftices; mais princi-

* *Hift. de l'Acad. des Scienc. 1702. p. 3.*

X. LEÇON.

»palement, parce que ce ſont des »corps qui ſe meuvent avec beau»coup de violence ; de-là vient »l'augmentation de ce volume d'air. »Que s'il eſt enfermé de maniere »qu'il ne ſe puiſſe étendre, les par»ticules de feu qui tendent à ouvrir »les ſpirales, & ne les ouvrent point, »augmentent par conſéquent leur »force de reſſort, qui ceſſeroit, ſi »elles s'ouvroient librement. Quand »l'air eſt condenſé, il y a plus de »particules d'air dans un même eſpa»ce, & quand les particules de feu »viennent à y entrer, elles exercent »donc leur action ſur un plus grand »nombre de particules d'air ; c'eſt-»à dire qu'elles cauſent ou une plus »grande dilatation ou une plus gran»de augmentation de reſſort. Or »quand l'air eſt chargé d'un plus »grand poids, il eſt plus condenſé ; »& par conſéquent, s'il ne peut »alors s'étendre, comme on le ſup»poſe toujours, un même degré de »chaleur augmente davantage ſon »reſſort.»

APPLICATIONS.

X. LEÇON.

EN procédant comme dans l'expérience précédente, on obſerve que l'augmentation cauſée au reſſort de l'air par la chaleur de l'eau bouillante, eſt égale au tiers du poids dont l'air eſt alors chargé, ſi l'expérience eſt faite dans le printemps ou dans l'automne, c'eſt-à-dire, dans un temps qui tienne à-peu-près le milieu entre le grand chaud & le grand froid. Ainſi l'air que nous reſpirons, toujours chargé d'un poids égal à celui de 28 pouces de mercure à-peu-près, étant échauffé par de l'eau bouillante, augmenteroit la force de ſon reſſort de 9 pouces 4 lignes. Un air condenſé au double, l'augmenteroit de 18 pouces 8 lignes, qui font le tiers de 56. Réciproquement un air toujours dans le même état de condenſation augmentera différemment ſon reſſort, ſelon les différens degrés de chaleur.

M. Amontons, à qui l'on doit cette découverte, en a fait lui-même une application utile, en conſtruiſant ſur

X. LEÇON.

ce principe un thermométre d'air * qui me paroît avoir été le premier (*a*) où les degrés de chaleur se rapportassent à un terme connu : car avant lui ces sortes d'instrumens n'apprenoient rien, sinon qu'il faisoit plus froid ou plus chaud que dans un autre lieu, dans un autre temps où on les avoit observés : les thermométres comparables ont pris naissance entre ses mains ; s'il ne les a point portés au degré de perfection où ils sont aujourd'hui, on lui a du moins l'obligation de nous avoir mis sur la voie.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc* 1702. p. 161.

Un poële allumé dans une chambre, ne manque pas d'en raréfier l'air, parce que cet air n'est pas tellement renfermé, qu'il ne communique un peu avec celui du dehors, par des petits passages qui se trouvent toujours à la porte ou aux fenêtres, & qui lui laissent la liberté de s'étendre; mais l'air, quoiqu'ainsi raréfié & moins dense que l'atmosphere, se tient pourtant en équilibre avec elle, parce qu'en

(*a*) On trouve dans les Transact. Philosop. n. 197, année 1693. un mém. de M. Halley, qui a pour objet de faire un thermométre comparable en tous lieux & sans modele.

s'échauffant

s'échauffant il acquiert un de degré de ressort qui le met en état d'en soutenir la pression ; la même cause qui diminue sa densité, augmente d'autant son ressort, & l'un supplée à l'autre.

X. LEÇON.

Il n'en est pas de même lorsqu'on fait du feu dans une cheminée ; l'air s'y raréfie, sans que son ressort augmente, parce qu'il peut s'étendre facilement ; aussi-tôt l'équilibre cesse entre les deux colonnes de l'atmosphere qui répondent aux deux extrémités du tuyau ; celle qui pése par en bas ayant toute sa densité, l'emporte sur l'autre qui est en partie raréfiée, & il se fait un courant d'air de bas en haut : voilà au moins ce qui arrive pour l'ordinaire ; nous aurons peut-être occasion d'examiner ailleurs, quelles sont les causes qui peuvent empêcher cet effet, & déterminer l'air à descendre par la cheminée.

De tous les usages que nous faisons de l'air, il n'en est point de plus fréquent, de plus remarquable, de plus nécessaire, que celui qu'on nomme *respirer*. Environ 30 fois dans chaque minute, la poitrine s'éleve & s'abaisse, & par ce mouvement al-

X. LEÇON.

ternatif aſſez ſemblable à celui d'un ſoufflet qui eſt en jeu, elle ſe rétrécit & ſe dilate : en ſe dilatant, elle reçoit l'air extérieur, qui, preſſé par le poids de l'atmoſphere, paſſe dans les véſicules des poulmons; lorſque la poitrine s'abaiſſe enſuite, l'air qui ne peut plus y être contenu, paſſe au dehors & emporte avec lui les vapeurs dont il s'eſt chargé : la premiere de ces deux actions ſe nomme *inſpiration*, la derniere s'appelle *expiration*, & l'une & l'autre ſont tellement néceſſaires pour la conſervation de la vie, qu'il n'y a aucun animal qui ne périſſe infailliblement quand on lui interdit ce double mouvement, ou qu'on le prive d'un air capable de l'entretenir, comme on le verra dans les expériences ſuivantes.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On couvre d'un grand récipient un pigeon ou quelqu'autre oiſeau que l'on place ſur la platine d'une machine pneumatique, & l'on donne pluſieurs coups de piſton pour raréfier l'air peu-à-peu. *Fig.* 28.

EFFETS.

Quand la densité de l'air est diminuée à-peu-près des deux tiers dans le récipient, l'oiseau tombe en convulsion ; assez souvent il se vuide par le bec, ou par la voie ordinaire des excrémens ; & si l'on continue de faire le vuide plus parfaitement, ou qu'on le laisse seulement quelques minutes en cet état, il périt sans retour ; mais lorsqu'on lui rend l'air promptement, il se rétablit en peu de temps : ce rétablissement, à dire vrai, n'est pas pour l'ordinaire, de longue durée ; je n'ai gueres vû d'oiseaux, ni même d'autres animaux, qui ayent beaucoup survécu à cette épreuve.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

DANS un grand vase de verre presque plein d'eau, on met un petit poisson vivant, & l'on couvre le tout d'un grand récipient sur la machine pneumatique. *Fig.* 29.

X. LEÇON.

EFFETS.

A meſure qu'on fait le vuide dans le récipient, on voit ſortir des bulles d'air de deſſous les écailles du poiſſon, par ſes ouies & par ſa bouche. L'animal ſe tient à la ſurface de l'eau ſans pouvoir aller au fond ; il y meurt enfin, mais ce n'eſt qu'après pluſieurs heures d'épreuve : & quand on fait rentrer l'air dans le récipient, ſoit avant ſoit après ſa mort, il retombe au fond du vaſe, & ne peut jamais remonter à la ſurface de l'eau.

EXPLICATIONS.

La vie animale, comme on ſait, conſiſte principalement dans le mouvement du cœur & dans la circulation du ſang. Or ſi l'on en croit les plus habiles Anatomiſtes, & ſi l'on en juge par leurs obſervations & par leurs expériences, la reſpiration entretient l'un & l'autre ; ſoit parce que l'air qui eſt pouſſé dans les poulmons par le poids de l'atmoſphere, ſert d'antagoniſte aux muſcles que la nature employe pour l'inſpiration, & que preſſant les vaiſſeaux où le ſang a été por-

té par la contraction du cœur, il le détermine à refluer vers cette ſource, pour aller enſuite aux autres parties du corps ; ſoit parce que l'air diviſé & filtré, pour ainſi dire, ſe mêle avec le ſang & circule avec lui en l'animant par ſon reſſort * : l'animal qui ne peut pas reſpirer, ne peut donc pas continuer de vivre.

* *M. Méry. Mém. de l'Acad. des Sc. 1700. p. 211.*

L'oiſeau que l'on a placé dans un air conſidérablement raréfié, ne reſpire plus ; parce que cet air ne participe plus au poids de l'atmoſphere, dont il eſt ſéparé, & que ſon reſſort, comme ſa denſité, eſt beaucoup diminué. C'eſt envain que la poitrine ſe dilate ; le fluide qui a coutume de s'y introduire n'en a plus la force ; ainſi le mouvement alternatif que l'on nomme reſpiration, ne peut plus avoir lieu, puiſque des deux puiſſances qui le produiſent, on en ſupprime, ou on en affoiblit une, qui eſt le poids ou le reſſort de l'air.

Une autre cauſe qui fait périr un animal dans le vuide, c'eſt que l'air qu'il a dans les différentes capacités & dans les fluides mêmes de ſon corps, ſe raréfie fortement, lorſqu'il n'eſt plus

X. LEÇON.

contenu par la pression de l'air extérieur; car toutes ces portions d'air dilaté, acquérant un volume beaucoup plus grand que celui qu'elles ont dans l'état naturel, compriment & rompent souvent les parties où elles se trouvent engagées, ou bien elles font des obstructions dans les vaisseaux, & arrêtent le cours des humeurs. C'est pour cela sans doute que les animaux ont ordinairement des nausées, ou qu'ils se vuident lorsqu'on les applique à ces sortes d'épreuves; car l'air des intestins ou de l'estomac venant à s'étendre, chasse devant lui les alimens non digérés, ou les excrémens qui lui ferment le passage.

On ne peut pas douter qu'il n'y ait de l'air dans le corps des animaux, & même de ceux que la nature a destinés à vivre dans l'eau, puisqu'on le voit sortir du poisson à mesure qu'on fait le vuide dans le récipient. Il y a toute apparence que les aquatiques & les amphibies respirent différemment des autres animaux qui vivent continuellement dans l'air, puisque la privation de cet élément ne les fait pas mourir aussi promptement; mais on

doit croire que ce qui accélere le plus leur perte dans le vuide, c'eſt l'air intérieur qui ſe dilate & qui mét tout en déſordre. Cette double véſicule qu'on trouve dans les carpes & dans la plupart des autres poiſſons, ſe diſtend en pareil cas & fait enfler le corps de l'animal ; c'eſt pourquoi tant qu'il eſt dans le vuide, il ſurnage malgré lui, étant plus léger alors que le volume d'eau auquel il répond : mais il devient plus petit & ſe précipite involontairement, quand on fait rentrer l'air dans le récipient ; parce que la véſicule en ſe dilatant s'eſt vuidée en partie, & que le reſte de l'air qu'elle contient, lorſqu'il reprend une denſité égale à celle de l'atmoſphere, n'eſt plus capable de la remplir, comme il eſt facile de s'en aſſurer en ouvrant le corps du poiſſon.

APPLICATIONS.

PAR l'explication que je viens de donner des deux expériencs précédentes, on voit que les animaux placés dans le vuide y périſſent par deux raiſons principales : premiérement, par défaut de reſpiration ; ſeconde-

X. LEÇON.

ment, par la dilatation de l'air qui ſe trouve renfermé dans leurs corps. Comme les genres & les eſpeces different non-ſeulement par la figure & par les mœurs, mais encore par la conformation, le nombre & la grandeur des parties internes, il eſt vraiſemblable que tout ce qui reſpire, ne reſpire point de la même façon; que dans certains animaux la reſpiration doit être abondante & fréquente; & que dans d'autres au contraire elle peut ſe faire plus lentement & avec un air plus rare, au moins pour un certain temps. Voilà, ſans doute, pourquoi de tant d'animaux d'eſpeces différentes, éprouvés dans le vuide par Boyle, l'Académie de Florence, Derham, Muſchenbroek, & tant d'autres Phyſiciens, les uns meurent dans l'eſpace de 30 ou de 40 ſecondes, comme preſque tous les oiſeaux, les chiens, les chats, les lapins, les ſouris, &c. pendant que d'autres ſoutiennent un vuide de pluſieurs heures, comme les poiſſons, la plûpart des reptiles, & nommément la grenouille, qui réſiſte quelquefois à cette épreuve pendant un

jour entier ſans mourir. Car puiſque ces derniers animaux vivent commodément dans l'eau, on ne peut pas dire qu'ils ayent beſoin de reſpirer à la maniere des animaux terreſtres; & peut-être ſoutiendroient-ils le vuide plus long-tems qu'ils ne font, s'ils n'avoient à y ſouffrir qu'une ſimple privation d'air, & ſi celui qu'ils ont au-dedans du corps ne dérangeoit rien à l'économie des parties, par ſa grande dilatation. Ce qui me porte à penſer ainſi, c'eſt qu'on les voit s'enfler conſidérablement, & qu'après la mort, on leur trouve toujours les poulmons flaſques & plus peſans que l'eau.

Une autre raiſon qu'on pourroit alléguer encore en faveur de cette opinion, c'eſt que preſque tous les inſectes, ceux même qui vivent en plein air, les papillons, les mouches, les ſcarabées ſouffrent, ſans périr, une privation d'air qui va quelquefois à pluſieurs jours, ſans doute parce que n'ayant dans le corps que de très-petits volumes d'air qui ſe dilatent peu, le vuide ne peut leur être mortel, que par le ſeul défaut de

X. Leçon.

respiration; & ces petits animaux vraisemblablement peuvent être long-temps sans respirer, au moins l'air grossier.

Convenons cependant que l'état naturel de tous ces animaux est de pouvoir prendre l'air, & que c'est leur faire violence que de les en priver. On voit le poisson s'élancer de lui-même à la surface des étangs, pour en prendre de nouveau & pour rejetter celui qu'il a pris précédemment. Les Naturalistes conviennent qu'il sçait filtrer & s'approprier celui qui est disséminé dans l'eau ; & quand il meurt sous la glace, on a raison de croire que c'est parce que l'air lui a manqué, puisqu'on évite cet accident quand on a soin de rompre les glaçons. Enfin le poisson vit beaucoup plus long-temps dans l'air & sans eau, qu'il ne peut faire en pleine eau s'il manque d'air.

En conséquence de ce dernier fait qui est incontestable, en voici un autre que je trouve dans de bons Auteurs, & que j'ai appris moi-même en Hollande & en Angleterre, de plusieurs personnes que je ne puis pas

soupçonner d'avoir voulu m'en imposer. On suspend, dit-on, des carpes dans des petits filets sur de la mousse humide & dans un lieu frais, & pendant deux ou trois semaines on les engraisse avec de la mie de pain trempée dans du lait. S'il n'y a rien à rabattre de ce récit (*a*), il est évident que l'air est plus nécessaire que l'eau au poisson même, & qu'on peut mettre ce principe à profit.

Quelques Auteurs ont observé, que les chiens, les chats, les lapins, &c. nouveaux-nés, ne meurent pas dans le vuide aussi promptement que les adultes des mêmes especes; c'est que la respiration est d'une nécessité plus pressante pour ceux-ci que pour les premiers. Pour en sentir la différence, il faut savoir, qu'avant la naissance, il n'y a qu'une circulation pour la mere & pour le fœtus. Dans celui-

(*a*) J'ai tenté deux fois cette expérience sans succès; mais je n'en ai pu rien conclure de certain, parce que les carpes que j'ai employées, avoient été fatiguées par un assez long transport, ou assez mal-traitées depuis qu'elles étoient sorties de l'eau. Je n'ai jamais pu leur faire rien avaler : elles sont mortes en moins de 24 heures.

X. LEÇON.

ci qui ne respire point encore, le sang va du ventricule droit au ventricule gauche du cœur, par une communication que les Anatomistes ont nommée le *trou ovale*, & sans être obligé de passer par le poulmon, où l'air extérieur n'a point encore d'accès : mais après la naissance, ce passage se ferme peu-à-peu, & la respiration devient nécessaire, pour enfler les vésicules du poulmon, & pour faire circuler le sang dans le nouvel animal séparé de sa mere, de la même façon que la respiration de celle-ci le faisoit circuler précédemment dans l'un & dans l'autre. C'est pourquoi l'on reconnoît communément si un enfant est mort avant que de naître, ou s'il a respiré avant que de mourir, en mettant son poulmon dans l'eau ; car s'il surnage, c'est une marque qu'il y a de l'air, & que l'enfant a respiré, ce qu'il n'a pû faire qu'après sa naissance. C'est une épreuve que la Justice mettoit en usage, lorsqu'il s'agissoit de juger une mere qui étoit accusée d'avoir tué son enfant, & qui se défendoit de ce crime, en soutenant qu'il étoit venu mort au monde. Mais on a observé

X. LEÇON.

depuis, qu'en certains cas le poulmon d'un fœtus peut ſurnager ; & que celui d'un enfant nouveau-né peut aller au fond de l'eau ; ce qui rend cette expérience inſuffiſante pour établir un jugement de cette importance.

Pluſieurs Anatomiſtes * prétendent avoir trouvé le trou ovale encore ouvert dans des adultes. Cette obſervation, qui n'eſt preſque (*a*) point conteſtée, peut expliquer certains faits dont le récit révolte les eſprits les plus crédules. Telle eſt l'hiſtoire du Jardinier (*b*) de Troningholm de Suede, qu'on dit avoir été 16 heures perdu dans l'eau & ſous la glace, ſans avoir été noyé ; telle eſt celle d'un certain Laurent Jonas qui y reſta, dit-on, ſept ſemaines ſans mourir :

* *Hiſt. de l'Académie des Sciences.* 1700. p. 40.

(*a*) Cheſelden célébre Anatomiſte de Londres, prétend que tous ceux qui ont cru voir le trou ovale dans les adultes, ſe ſont trompés en prenant pour ce trou l'ouverture des veines coronaires. *Derham. Theol. Phyſ. liv.* 4. *chap.* 7. *rem.* 15.

(*b*) Une perſonne du pays, diſtinguée par ſa naiſſance & par un goût décidé pour les Sciences, m'a aſſuré que ce ſait paſſe conſtamment pour vrai en Suede ; mais que c'eſt à Stromsholm, ſéjour ordinaire de la Cour, & non à Troningholm, qu'il eſt arrivé.

X. LEÇON.

l'une & l'autre ſont rapportées par Pecklin * ſur des témoignages qui paroiſſent autentiques. Je ſens par moi-même qu'on aura bien de la peine à s'y rendre ; mais pourtant , s'il eſt vrai qu'on puiſſe vivre autant que le ſang peut circuler, que la circulation ſe faſſe librement ſans reſpirer l'air, dans ceux qui ont le trou ovale encore ouvert, & que ce trou ait été obſervé dans des adultes, ſeroit-il impoſſible qu'il ſe rencontrât de ces faits extraordinaires ?

* *De aëriis & alim. conf.* c. 10.

On croira plus facilement ce que l'on raconte de pluſieurs perſonnes qui ont été étranglées par ordre de la Juſtice , ou autrement , & qui ont été trouvées vivantes , après avoir été détachées de la potence : ces exemples ſe rencontrent plus fréquemment, & pluſieurs ſont ſuffiſamment atteſtés. Cependant il paroît qu'il y a plus de cauſes de mort dans les pendus que dans les noyés ; la ligature du col qui contraint les vaiſſeaux, les efforts qui ſe font ſur cette partie, tant par le poids du corps que par celui qu'on y ajoute , les coups & les différens mouvemens que l'e-

xécuteur employe pour hâter le ſupplice : ſi malgré tout cela il ſe trouve encore de temps en temps quelques-uns de ces malheureux qui reprennent vie (*a*), je ſerois tenté de croire qu'on pourroit ſauver beaucoup de noyés, qui ont été peu de temps dans l'eau, que l'on juge morts ſur des ſignes aſſez ſouvent équivoques, ou que l'on acheve de faire périr par des ſecours mal entendus. J'appelle ſecours mal entendus, de les tenir ſuſpendus, la tête en bas, & ſouvent dans un air froid ; il ſeroit mieux d'eſſayer à ranimer le ſang par une chaleur douce, par des liqueurs ſpiritueuſes, par des frictions, & de les tenir dans une ſituation naturelle & commode (*b*) ; car ils ont avalé peu

X. LEÇON.

(*a*) Ces ſortes de ſuppliciés échappent à la mort, ou parce que l'étranglement a trop peu duré, pour éteindre entiérement en eux le principe de la vie, ou parce que la corde, au lieu de ſerrer les anneaux de la trachée, a porté ſon effort ſur le cartilage *Scutiforme*, qu'on nomme vulgairement le nœud de la gorge, & qui eſt capable d'une très-grande réſiſtance dans certains ſujets ; au moyen de quoi la reſpiration n'a point été entiéremenr interrompue.

(*b*) On prétend que la cendre de bois neuf

X. LEÇON.

d'eau, & ce qu'ils en ont dans l'estomac n'est pas le mal le plus pressant ou le plus réel.

Si la respiration manque aux animaux dans le vuide, ou dans un air considérablement raréfié, elle devient pénible aussi dans un air condensé au-delà de son état ordinaire. MM. Derham & Muschenbroek ont mis des oiseaux & des poissons dans un air deux ou trois fois plus condensé qu'il ne l'est communément par le poids de l'atmosphere, & ces animaux pour la plûpart y ont péri en 5 ou 6 heures : on ne doit pas douter qu'on ne leur ait fait violence, en rompant ainsi l'équilibre entre l'air intérieur de leur corps, & celui qui les environnoit ; & qu'ils n'eussent eû beaucoup plus à souffrir encore, s'ils eussent été mis dans un air excessivement comprimé. Mais on ne croira pas qu'une double ou une triple condensation ait été la principale cause de leur mort, lorsqu'on saura, que des animaux des mêmes especes ne vivent gueres plus long-temps dans

appliquée pendant quelque temps sur tout le corps du noyé, peut le rappeller à la vie.

un air qui a la denſité & la température de l'atmoſphere, s'il lui manque ſeulement d'être renouvellé.

X. LEÇON.

C'eſt un fait conſtaté par l'expérience, & que les Phyſiciens expliquent de diverſes façons. Les uns prétendent (& c'eſt le plus grand nombre) que l'air qui a été reſpiré, eſt chargé des vapeurs & des exhalaiſons, dont il a purgé le viſcere; & qu'il ne peut plus être reſpiré en cet état, ſans cauſer une ſurabondance de ces parties nuiſibles qui arrêtent la circulation, & qui ſuffoquent l'animal. Les autres penſant avec raiſon que l'air n'eſt propre à la reſpiration qu'autant qu'il eſt élaſtique, croyent qu'il perd une grande partie de ſon reſſort, par le ſéjour qu'il fait dans les poulmons, ou dans les vaiſſeaux ſanguins; & qu'ainſi, pour le reſpirer ſainement, il faut, ou qu'il ſe renouvelle, ou qu'il ſoit purgé des parties hétérogènes dont il paroît viſiblement chargé au moment de l'expiration. On peut conſulter à ce ſujet tout ce qui eſt rapporté par M. Hales dans ſa *Statique des végétaux*, c. 6 *Exp.* 107. & *ſuiv.* où l'on trouvera des

observations fort curieuses.

X. LEÇON.

Quoi qu'il en soit, c'est agir prudemment que de ne se point exposer dans un air que l'on soupçonne d'être infecté d'une grande quantité d'exhalaisons, sur-tout de celles qui sont sulfureuses. Les cloaques qui ont été longt-temps fermés, les souterreins qui avoisinent les minieres, les lieux clos où l'on a tenu du charbon allumé, les celliers mêmes dans lesquels fermentent les vins nouveaux ou la bierre, sont extrêmement dangereux *. On en peut juger par cette fameuse grotte d'Italie, dans laquelle un chien, ou tout autre animal, ne peut demeurer une minute sans être suffoqué; par cet accident aussi funeste que mémorable *, arrivé à Chartres dans la cave d'un Boulanger, où sept personnes furent étouffées subitement l'une après l'autre, par la vapeur de la braise; enfin par quantité d'ouvriers qu'on sait avoir péri de cette maniere, soit en fouillant des fosses, soit en nettoyant de vieux puits. L'usage des poëles même peut être pernicieux, sur-tout dans les commencemens, lorsqu'ils sont de fer ou de cuivre,

* *Camerarius, in Ep. Taurinensibus.*

* *Hist. de l'Acad. des Scienc.* 1710. *page* 71.

& qu'on les chauffe fortement ; ce dernier métal ſur-tout peut jetter dans l'air des exhalaiſons très-nuiſibles.

Non-ſeulement on doit éviter cet air empoiſonné, dont les effets ſont ſi prompts ; mais la prudence pourroit aller juſqu'à purifier, ou renouveller au moins, celui qu'on eſt obligé de reſpirer. Pourquoi, par exemple, ne prendroit-on pas cette peine pour des vaiſſeaux, pour des ſalles de ſpectacles, pour des mines, pour des Hôpitaux? Pluſieurs Phyſiciens fort habiles * en ont fourni les moyens, & les épreuves en ont été faites avec ſuccès. Je crois même que des perſonnes qui reſtent 9 ou 10 heures au lit, devroient avoir l'attention de n'y être point enveloppées de rideaux fort épais, & qui ſe ferment fort exactement ; car il n'eſt pas ſain de demeurer ſi long-temps dans une petite maſſe d'air qui ne ſe renouvelle point aſſez, & dont la pureté ne ſauroit manquer d'être fort altérée, par la tranſpiration inſenſible & par la reſpiration,

* *Déſaguiliers, Tranſ. Phil. n. 407. Hales, deſcript. du Ventilateur, par le moyen duquel, &c. traduit en Fr. par M. Demours.*

Si l'on pouvoit purifier l'air avec autant de facilité qu'on le peut re-

X. Leçon.

nouveller, il n'est pas douteux qu'on ne le dût faire avec soin dans bien des occasions; & nous serions trop heureux, s'il ne s'agissoit que d'en faire connoître l'utilité. Jugeons de notre élément, comme nous le faisons de celui des poissons; si l'eau d'un vivier ou d'un étang devient infecte, ne voit-on pas languir le poisson; & la mortalité ne s'y met-elle pas en peu de temps; A quoi devons-nous attribuer les maladies épidémiques, dont les symptômes sont les mêmes dans des sujets qui vivent tout différemment les uns des autres, dans un enfant, dans un adulte, dans un Prince, dans un Paysan, &c. est-ce à la nourriture, au genre de vie, à l'âge, au tempérament ? n'est-ce pas plutôt aux qualités actuelles de l'air qu'ils respirent tous en commun ? ne voit-on pas ces sortes de contagions se communiquer souvent, ou se dissiper par les vents, ou par d'autres changemens qui arrivent dans l'atmosphere?

Boyle * fait mention d'une liqueur très-volatile, dont Drebell se servoit, dit-on, pour purifier l'air dans une es-

* *Exp. physico-mechan. Exp.* 41.

pece de vaisseau qu'il avoit imaginé pour aller entre deux eaux; (car on savoit déja, qu'un air qui avoit été respiré, devenoit, en peu de temps, incapable de l'être davantage:) on trouve des Auteurs * qui disent avoir vû le vaisseau, qui l'ont même imité avec peu de succès, & dont le témoignage ne nous fait point regretter cette invention. Mais pour la liqueur, qui mériteroit bien des éloges, & dont on pourroit tirer de grands avantages si le secret n'en étoit point mort avec son auteur, personne ne dit l'avoir vûe, & je crois qu'il est très-permis de douter au moins de cette merveille.

* *Papin; Rec. de diverses pieces, &c. édition. 1695.*

Si l'on peut se flatter de purger l'air, je pense qu'on n'y parviendra que par une sorte de filtration, en l'obligeant de passer par quelque matiere, où il puisse déposer ce qu'il contient d'étranger: mais il faut pour cet effet que ce dont on veut le dépouiller, soit de nature à s'attacher plus fortement au filtre qu'aux parties de l'air; la connoissance de cette analogie doit être le fruit d'un grand nombre d'expériences délicates, &

X. LEÇON.

d'obſervations bien méditées ; mais l'objet eſt important, & pluſieurs habiles maîtres * ont déja fait à cet égard quelques eſſais qui flattent nos eſpérances : c'eſt en cédant à cette conſidération, que j'ai hazardé de propoſer un inſtrument pour laver l'air, & pour recueillir les matieres dont il peut être chargé. *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1741 page 335 & ſuiv.*

* *Hales, Stat. des végét. chap. 6. exp. 116. Muſchenbroek, orat. de meth. inſtit. Exp. Phyſ. p. 28.*

IL y auroit encore bien des choſes à dire des propriétés de l'air, & de ſes uſages par rapport à la reſpiration, & à la maniere dont il influe ſur la vie des animaux ; mais ces détails quelqu'intéreſſans qu'ils ſoient, ne peuvent avoir lieu que dans un traité, où l'on auroit entrepris de faire entrer tout ce qui eſt contenu touchant ce fluide : les bornes que je me ſuis preſcrites dans ces Leçons, ne me permettant pas de m'étendre davantage ſur cette partie, je paſſe à une autre propriété de l'air, qui eſt encore fort importante, par les applications qu'on en peut faire. Je vais prouver par des faits, que les matieres les plus combuſtibles ne peuvent

s'enflammer que dans un air libre; & que quand elles le ſont, elles s'éteignent promptement dans le vuide.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut placer ſur la platine d'une machine pneumatique, & ſous un grand récipient, une groſſe chandelle bien allumée, *Fig.* 30. & faire agir la pompe.

EFFETS.

A meſure qu'on raréfie l'air, la flamme diminue de volume, & après quelques coups de piſton, elle s'éteint tout-à-fait.

XIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

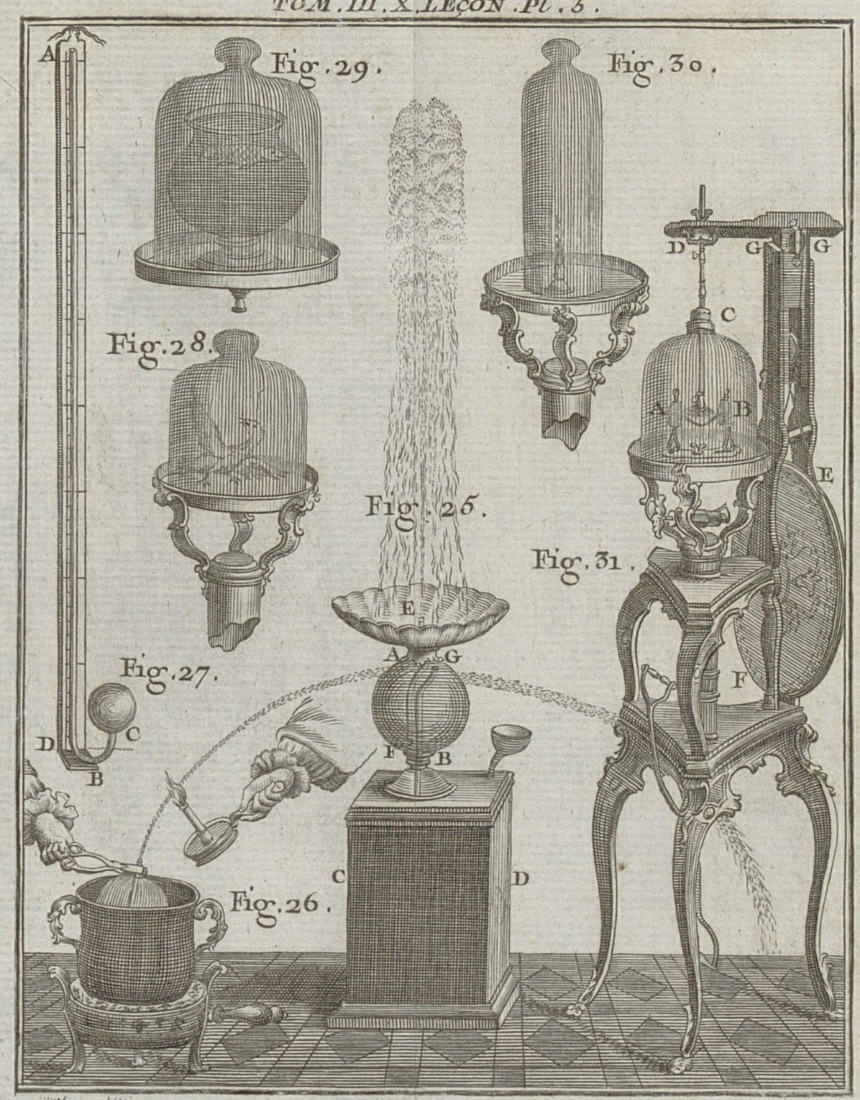
A, *B*, *Fig.* 31. ſont deux pierres à fuſil portées par deux petits montans à reſſort, qui ſont établis ſur la platine d'une machine pneumatique; par le moyen d'un petit chaſſis de métal, qui eſt fixé au centre, & dans lequel ils gliſſent pour s'approcher plus ou

X. LEÇON.

moins l'un de l'autre ; *C*, eſt une de ces boîtes à cuirs, dont nous avons parlé ci-deſſus, & dont la tige eſt engagée d'une part dans l'axe de la poulie *D*, & porte à ſon autre extrémité, & entre les deux pierres, une rondelle d'acier trempé, imparfaitement arrondie. Lorſqu'on fait tourner la grande roue *EF*, le mouvement ſe communique par les poulies de renvoi *G*, *G*, *D*, juſqu'en *C*, & ſe tranſmet par la tige dans le récipient ; & la rondelle d'acier frottant alors rudement contre les deux pierres qui ſont tranchantes, fait l'office d'un véritable briquet.

EFFETS.

Tant que l'air du récipient eſt dans ſon état naturel, le frottement de l'acier contre les pierres fait naître un grand nombre d'étincelles très-brillantes : à meſure que l'air ſe raréfie par l'action de la pompe, ces étincelles deviennent moins nombreuſes & moins éclatantes ; lorſque l'air arrive à ſes derniers degrés de raréfaction, à peine en apperçoit-onquelques-unes, qui n'ont plus alors qu'une couleur rouge


Fig. 29.
Fig. 30.
Fig. 28.
Fig. 25.
Fig. 31.
Fig. 27.
Fig. 26.
A
B
C
D
E
F
G

rouge & morne : enfin quand le vuide est aussi parfait qu'il peut l'être, il n'en paroît plus aucune ; mais elles recommencent à paroître aussi-tôt que l'on a rendu l'air dans le récipient.

XIV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

DANS un grand récipient, *Fig.* 32. garni comme le précédent d'une boîte à cuirs, on établit de la même maniere que les pierres à fusil, un petit chassis de métal, dans lequel se meut sur deux pivots la petite phiole de verre *H* ; on met dans ce petit vaisseau quelques grains de poudre à canon ; & au centre de la platine, sur un morceau de tuile ou de brique, un vase fort épais de cuivre rouge *K*, que l'on a fait chauffer jusqu'à rougir : on fait le vuide promptement ; & lorsque l'air est extrêmement raréfié, en abaissant la tige *I*, on appuie sur le goulot de la phiole qui s'incline, & qui jette la poudre dans le vase ardent.

X.
LEÇON.

EFFETS.

La poudre, au lieu de s'enflammer & de faire ſon exploſion ordinaire, ſe diſſipe en fumée & ſans éclat ; ou bien, il ne paroît tout au plus qu'une petite flamme bleue & rampante,

EXPLICATIONS.

C'eſt une opinion reçûe en Phyſique, que la flamme conſiſte dans un mouvement de vibration imprimé aux parties du corps combuſtible, qui ſe diſſipent ſous la forme d'un fluide extrêmement ſubtile. Si l'on admet cette ſuppoſition, que nous examinerons, lorſque nous traiterons de la nature du feu ; on conçoit aſſez aiſément pourquoi les corps ne s'enflamment point dans le vuide, & pourquoi la flamme s'y éteint ; car un mouvement de vibration ne peut durer que dans un milieu à reſſort, capable d'une réaction qui l'entretienne : ainſi la chandelle s'éteint peu-à-peu, à meſure qu'on raréfie l'air du récipient, parce que le reſſort du fluide environnanr diminue comme ſa denſité, & que les vibrations de la

flamme n'éprouvent plus assez de réaction de sa part. Par la même raison, la poudre que l'on fait tomber sur du métal ardent, ne produit que de la fumée dans le vuide, ou tout au plus une flame très-foible, qui périt dans l'instant.

X. LEÇON.

Il est à propos d'avertir cependant, que cette derniere épreuve ne doit se faire qu'avec quelques grains de poudre seulement, comme on l'a marqué dans l'article de la préparation; car le soufre & le salpêtre brûlés produisent dans le récipient de l'air, ou un fluide qui est élastique comme lui; & si l'on en employoit une certaine quantité, ce qui tomberoit à la fin dans le vase ardent, seroit infailliblement enflammé, & pourroit éclater avec danger.

Les étincelles qui naissent du choc de l'acier contre des cailloux tranchans, sont des particules du métal qui se détachent de la masse par la violence du coup, qui s'échauffent jusqu'à rougir & le plus souvent jusqu'à se fondre; c'est ce dont il est facile de se convaincre, en les recevant sur un papier blanc que l'on examine ensuite avec un microscope; car tous

X. LEÇON.

ces petits morceaux d'acier paroiſſent comme autant de petites boules fort liſſes, ce qui dénote viſiblement qu'ils ont été mis en fuſion, & qu'ils ſe ſont arrondis, comme toutes les matieres liquides qui nagent en petite quantité dans un milieu fluide.

On peut remarquer que pluſieurs de ces étincelles éclatent en l'air, & repréſentent un feu beaucoup plus brillant que les autres; ce ſont celles qui paſſent la fuſion, & qui s'enflamment juſqu'à diſſipation de parties; on les diſtingue aiſément ſur le papier par leur couleur qui eſt plus brune, & parce qu'elles ſont friables comme le mâche-fer.

M. Muſchenbroek, après Boyle, M. Hughens & pluſieurs autres Phyſiciens, a fait une grande quantité d'épreuves ſur l'inflammation des corps dans le vuide, dont on peut voir le détail dans ſes commentaires ſur les expériences de Florence, *page* 74 & *ſuiv.* Cette lecture ne peut être que fort utile à ceux qui s'appliquent à la Phyſique; & c'eſt avec regret que je me diſpenſe de les rapporter ici.

APPLICATIONS.

PUISQUE la flamme ne peut naître ni s'entretenir que dans un milieu à reſſort, on ne doit point être ſurpris qu'une bougie allumée ou un charbon ardent s'éteigne[5], lorſqu'on le plonge dans des liqueurs les plus inflammables, comme l'eſprit-de-vin & les huiles; & que l'une ou l'autre mette tout d'un coup le feu à ces mêmes liqueurs, lorſqu'elles ſont réduites en vapeurs. Car dans ce dernier état elles ſont mêlées avec l'air, & elles forment avec lui un fluide élaſtique, capable, par conſéquent, d'une réaction telle qu'il la faut pour entretenir l'inflammation; au lieu que dans l'état de liqueurs elles ſont ſi peu compreſſibles, qu'on doit les regarder comme dépourvûes du degré d'élaſticité néceſſaire.

Le feu brûle beaucoup mieux, & le bois ſe conſume bien plus promptement pendant les grands froids qu'en tout autre temps, apparemment parce que l'air eſt plus denſe, & qu'il a plus de reſſort; & au contraire on remarque qu'un réchaud plein de

X. LEÇON.

charbon allumé s'éteint bien-tôt, s'il eſt expoſé aux rayons du ſoleil, ſurtout pendant l'été,

Que doit-on croire de ces lampes ſépulchrales des anciens, leſquelles, ſi l'on en croit quelques Auteurs, brûloient pendant pluſieurs ſiecles ſans s'éteindre ? Un feu qui ne conſume point ſon aliment, & qui s'entretient dans des lieux où l'air ne ſe renouvelle point, pleins de vapeurs groſſieres, eſt une merveille dont il faudroit conſtater l'exiſtence, par des preuves plus poſitives que toutes celles qu'on en a, avant que de faire les frais d'une explication qu'on auroit bien de la peine à rendre plauſible. Car ce n'eſt point aſſez qu'il y ait de l'air autour des matieres enflammées, pour entretenir le feu, il faut encore que cet air ſoit libre & qu'il ait une certaine pureté : voilà pourquoi les incendies ceſſent ordinairement, quand ils commencent dans des lieux qu'on peut boucher de toutes parts, ſi d'ailleurs leurs parois ſont capables de réſiſter aux efforts de l'air & des vapeurs qui ſe dilatent au-dedans.

Quoiqu'un air renouvellé entre-

tienne la flamme & anime l'embrasement, cependant le souffle de la bouche ou le vent éteint une bougie, parce qu'il dissipe les parties de la flamme, & qu'il sépare le feu de son aliment: toutes les fois que cette dissipation n'a point lieu, l'inflammation, bien loin de cesser, ne fait qu'augmenter.

Je dois avertir aussi, qu'on ne doit tenter les inflammations dans le vuide qu'avec beaucoup de précautions, sur-tout celles qui doivent naître de la fermentation: car comme les liqueurs propres à cet effet sont d'autant plus actives qu'elles sont moins gênées par le poids de l'atmosphere, leur explosion doit être naturellement plus violente dans le vuide, qu'ailleurs; soit qu'elles produisent, en fermentant, une grande quantité d'air dont le ressort se déploye à l'instant, comme l'ont pensé quelques Physiciens *; soit qu'étant réduites en vapeurs, elles se dilatent elles-mêmes par leur propre embrasement. Quoique je ne désapprouve pas la premiere de ces deux explications, je crois pourtant qu'on trouvera plus de vraisemblance dans la derniere,

* *Slare, dans les leç. de Phys. de Cotes, 16. leçon.*

X. LEÇON.

quand j'aurai fait voir ailleurs les prodigieux efforts dont les vapeurs dilatées ſont capables.

JUSQUES ici nous avons parcouru les principales propriétés de l'air qui environne les corps : mais ce fluide ſe rencontre auſſi dans leur intérieur ; il en remplit les vuides ; il entre, pour ainſi dire, dans leur compoſition, comme l'eau d'un étang ou d'une riviere pénétre dans le bois, dans les pierres qui y ſont plongées, & tient une place dans les concrétions qui s'y forment.

Dans quelque état que ſoient les corps, on y trouve de l'air : les liqueurs en contiennent beaucoup, les corps ſolides, pour la plupart, en ont encore davantage; & ce qu'il y a d'admirable, c'eſt que, dans ceux-ci ſur-tout, la quantité d'air qui s'y trouve renfermé ſurpaſſe aſſez ſouvent 100 ou 150 fois leur volume, quand il eſt dégagé, & qu'il n'eſt plus retenu que par le poids de l'atmoſphere.

On peut ôter l'air d'un corps de quatre manieres différentes ; 1ment, en le tenant quelque temps dans le vuide ; 2ment, en le faiſant chauffer

fortement ; 3^{ment}, en le diviſant & en déſuniſſant ſes parties, par voie de fermentation, de diſſolution, ou de diſtillation ; 4^{ment} enfin, en les faiſant paſſer de l'état de liquidité à celui de ſolidité, comme lorſqu'on fait geler de l'eau. Les deux premiers moyens, & peut-être le quatrieme, ne dégagent que les parties les plus groſſieres de l'air, je veux dire, celui qui eſt dans les pores les plus ouverts & qui a une diſpoſition plus prochaine à s'étendre & à ſe dilater. Par le troiſiéme procédé, on ſépare les moindres parties, celles qu'une extrême ténuité rend preſqu'inflexibles, & qui ne deviennent ſenſiblement élaſtiques, que quand elles ſe ſont réunies pluſieurs enſemble, pour former des globules un peu plus groſſiers : car on peut croire que les petites lames qui compoſent une maſſe d'air, ne ſont pas des corps ſimples, mais des petits compoſés d'élémens plus courts, & qu'elles ſont d'autant plus roides qu'elles ſont plus diviſées, comme une lame d'acier perd de ſa flexibilité à meſure qu'on diminue ſa longueur. Il peut ſe faire que

X. LEÇON.

l'air qui entre dans la composition des mixtes, & qui concourt à la formation de leurs parties intégrantes, soit divisé jusqu'à ses particules élémentaires, & qu'il soit par cela même bien différent de celui qui ne fait que remplir les vuides ou les pores de ces mêmes matieres.

C'est à cet air extrait des corps que Boyle, & après lui M. Hales, ont donné le nom de *Factice*; non pas qu'il ayent cru qu'on pût faire de l'air par la conversion d'une matiere en une autre, mais parce que celui qui existe dans un corps quelconque, & qui est intimement mêlé avec lui, se révivifie ordinairement par le secours de l'art. On peut voir dans les ouvrages même de ces deux Auteurs *, le détail des expériences qu'ils ont faites sur cette matiere, & les conséquences qu'ils en ont tirées. Je me bornerai ici à quelques exemples qui pourront suffire, pour donner une idée de cet air factice, des qualités qu'il a, & des effets dont il est capable.

* *Boyle, experiment. Phys. Mech. continuat.* 21. *Halles, stat. des véget. ch.* 6. *& dans l'appendice, Exper.* 2. *& suiv.*

XV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

X. LEÇON.

IL faut mettre dans un gobelet de verre, avec de l'eau claire, un morceau de bois ou de pierre, une noix, un œuf, ou tout autre corps ſolide & fort poreux, de maniere qu'il ſoit entiérement plongé; ce qui ſe fera facilement par le moyen d'un plomb qu'on y joindra, ſi les matieres qu'on doit plonger ſont plus légeres que l'eau. On couvre le tout d'un récipient ſur la platine de la machine pneumatique, & l'on fait agir la pompe pour raréfier l'air. *Fig.* 33.

EFFETS.

A chaque coup de piſton, on peut remarquer qu'il ſort une grande quantité de bulles d'air du corps plongé; & lorſqu'on l'ouvre après cette épreuve, on le trouve pénétré & rempli d'eau, plus qu'il ne le pourroit être par une ſimple immerſion.

EXPLICATIONS.

L'air qui eſt renfermé dans les po-

X. Leçon.

res du bois, de la pierre, &c. eſt pour le moins auſſi denſe que celui de l'atmoſphere dont il a coutume de ſoutenir le poids : quand on ſupprime cette preſſion, ou qu'on la diminue par l'action de la pompe, cet air ſe dilate en vertu de ſon reſſort, ſon volume augmente, & ne pouvant plus ſe loger dans ces petits eſpaces où il eſt, il s'échappe dans l'eau, & devient viſible ſous la forme de petits globules, qui s'élevent promptement à cauſe de leur légéreté reſpective.

L'air qui paſſe du corps ſolide dans l'eau qui l'entoure, ſe met en petites boules, & cet effet arrive en général à tout fluide qui ſe trouve plongé dans un autre fluide avec lequel il a peine à ſe mêler ; apparemment parce que ſes parties également preſſées de toutes parts tendent à un centre commun. Je ſais bien qu'on objecte contre cette raiſon, que les gouttes d'eau ou de mercure demeurent atrondies dans le vuide de Boyle ; mais je ſais bien auſſi que ce vuide n'en eſt point un à proprement parler, & que tout ce qu'on peut prétendre, c'eſt que la preſſion y ſoit moindre

qu'ailleurs : mais l'effet dont il s'agit dépend bien moins d'une pression plus ou moins grande, que d'une pression égale de toute part, qu'on ne sauroit nier dans un vaisseau où l'on sait que l'air grossier n'est que raréfié, & dans lequel tout le monde convient qu'il y a toujours un fluide, indépendamment de celui qu'on fait sortir par le moyen de la pompe.

Lorsqu'on fait rentrer l'air dans le récipient, l'eau du gobelet se trouve plus comprimé qu'elle ne l'étoit dans l'air raréfié ; elle s'appuye par conséquent davantage sur toute la superficie du corps plongé. L'air qui a été raréfié dans les pores de celui-ci obéissant à cette nouvelle pression, se resserre dans un moindre espace, & l'eau va occuper les vuides qu'il a laissés. Voilà pourquoi ces corps étant ouverts après l'expérience, paroissent pénétrés ou remplis d'eau.

XVI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ON place, sous le récipient d'une machine pneumatique, un gobelet

X. LEÇON.

de verre plus long que large, & rempli jusqu'aux deux tiers de biere, de lait, d'esprit-de-vin, ou d'eau un peu tiede, & l'on fait agir la pompe.

EFFETS.

A mesure que l'air du récipient se raréfie, celui qui est contenu dans la liqueur se dégage, & s'éleve à la surface en forme de bulles qui augmentent de plus en plus en nombre & en grandeur : celles de l'esprit-de-vin & de l'eau font une ébullition qui dure quelque temps ; & si l'on continue de faire le vuide, cet effet cesse enfin, & l'on ne voit plus sortir d'air ; la biere & le lait s'élevent en mousse, & se répandent hors du vaisseau. *Voyez la Fig.* 34.

EXPLICATIONS.

C'est encore en supprimant la pression de l'air extérieure qu'on donne lieu à celui qui est répandu dans la liqueur de se dégager ; car n'étant plus chargé comme auparavant, il acquiert un plus grand volume, & sa légéreté respective plus puissante alors que le frottement & les autres causes qui ten-

dent à le retenir, ne manquent pas de l'élever vers la surface.

X. Leçon.

Plus la liqueur est facile à diviser, plus les bulles d'air s'élevent promptement, plus elles s'aggrandissent aussi, parce qu'elles trouvent moins de résistance à vaincre, pour s'étendre : c'est pourquoi lorsque le récipient est évacué à un certain point, l'esprit-de-vin & l'eau tiede qui sont très-fluides, laissent tout d'un coup échapper leur air qui les soulevent en gros bouillons. La biere & le lait au contraire étant des liqueurs visqueuses, ne se divisent que difficilement : les bulles d'air qui s'y forment, demeurent enveloppées de vésicules, & ne s'élevent que lentement ; & comme ces vésicules ne sont autre chose que les parties mêmes de la liqueur qui ont peine à se séparer, les bulles d'air, en les emportant, vuident le vaisseau.

APPLICATIONS.

BIEN des personnes s'imaginent que tous les corps généralement se conservent très-long-temps dans le vuide ; mais il y a beaucoup à rabattre de ce

X. LEÇON.

préjugé. Il eſt vrai que ceux qui ſont de nature à ſe décompoſer par l'évaporation d'une partie de leur ſubſtance, ou à ſe corrompre par l'humidité qui pourroit les pénétrer, périſſent ordinairement moins vîte dans le vuide que dans l'air libre, parce qu'ils ne ſont plus entourés d'un fluide qui fait, comme nous l'avons dit *, la fonction d'une éponge ou d'un abſorbant, & qui eſt toujours chargé de quelques vapeurs : mais il n'en eſt point ainſi de ceux qui portent en eux-mêmes un principe de fermentation ; car, 1ment, en perdant l'air qui remplit leurs pores, le mouvement inteſtin de leurs parties n'en devient que plus libre ; 2ment, cette liberté augmente encore par la ſuppreſſion du poids ou du reſſort de l'air extérieur ; ce qui me fait croire que les matieres de cette derniere eſpece ſe conſerveroient mieux dans un air comprimé que dans le vuide.

* *Tome II. page 121. & suiv.*

Le vin de Bourgogne qui a paſſé les Alpes n'a pas le même corps que celui qu'on boit en France ; il paroît moins coloré & plus pétillant : ne ſeroit-ce point parce qu'il auroit un peu

travaillé

travaillé en passant sur les hautes montagnes où la pression de l'atmosphere étant moins grande qu'elle ne l'est dans la plaine, a pû donner lieu à quelque commencement de fermentation ? Ce qui me le feroit soupçonner, c'est qu'ayant tenu dans un air un peu raréfié, & pendant quelques jours, une bouteille de vin, au bouchon de laquelle j'avois pratiqué un petit trou, il me parut un peu défait, & à-peu-près semblable à celui que j'avois goûté en Piémont. Je dois ajouter cependant que plusieurs personnes dignes de foi m'ont assuré, que le vin de Bourgogne qui va par mer en Italie, est sujet à de pareils changemens : le même effet peut être produit par différentes causes.

X. LEÇON.

L'air qui se dégage d'une liqueur en augmente nécessairement le volume jusqu'à ce qu'il en soit entiérement sorti, parce que les globules insensibles qui étoient logés dans les pores, se réunissant plusieurs ensemble, forment des masses plus grandes qui occupent de nouvelles places dans la liqueur : de même que si l'eau qu'on fait entrer, comme on sait, sans

X. LEÇON.

difficulté dans un verre plein de cendres ou de ſable, ſe convertiſſoit tout d'un coup en pluſieurs petits glaçons de la groſſeur d'une tête d'épingle, on conçoit bien que les deux matieres ne pourroient plus être contenues dans le même vaſe. L'air ſe dégage auſſi dans les liqueurs qui fermentent, & l'effort qu'il fait pour en augmenter le volume, fait ſouvent caſſer les vaiſſeaux qui les contiennent.

Il eſt inutile de propoſer ici aucune expérience, pour prouver qu'on peut faire ſortir l'air d'une matiere, en la faiſant chauffer fortement; nous avons tous les jours ſous les yeux aſſez d'exemples de cette ſeconde méthode, dans la préparation de nos alimens; on entend, & l'on voit même ſortir l'air des viandes & des fruits qu'on fait cuire, du bois verd qu'on met au feu, de l'eau, & des autres liqueurs que l'on fait bouillir. Les premiers bouillons doivent être attribués aux parties les plus groſſieres de l'air, qui, dilatées par la chaleur dans un fluide qui ſe dilate lui-même, augmentent en volume, & ſoulevent

avec violence ce qui s'oppoſe à leur extenſion & à leur aſcenſion. Je dis les premiers bouillons ; car je ferai voir, en parlant du feu & de ſes effets, qu'une liqueur qui continue de bouillir juſqu'à ce qu'elle ſoit entiérement évaporée, ne le fait pas en vertu d'une quantité d'air aſſez conſidérable pour fournir juſqu'à la fin. Mais quand l'air ſort d'une liqueur que l'on fait chauffer, on voit à-peu-près le même effet que dans le vuide ; les bulles qui ſe forment ont d'autant plus de peine à ſe dégager, que la matiere qui les enveloppe eſt plus difficile à rompre ou à étendre : elles ſe dégagent donc & s'élevent plus lentement dans du lait que dans de l'eau, & l'action du feu qui tend à les dilater agit plus long-temps ſur chacune, & en même temps ſur un plus grand nombre ; c'eſt pourquoi ces ſortes de liqueurs, le beurre, les réſines & les gommes fondues, ſe gonflent peu-à-peu, & ſurprennent, par des effervescences ſubites & aſſez ſouvent dangereuſes, ceux qui les font chauffer avec trop peu d'attention.

X. LEÇON.

A-peu-près comme l'eau ſort d'une

X. LEÇON.

éponge mouillée que l'on presse, l'air se dégage de toutes les matieres dont les parties se rapprochent & se condensent fortement : on s'en apperçoit rarement dans les solides, parce qu'étant communément plongés dans l'air de l'atmosphere, celui qui sort de leur intérieur se mêle immédiatement avec un fluide semblable à lui-même, & qui empêche par cette raison, qu'on ne le distingue : ce n'est qu'en pressant ces corps dans l'eau, ou dans quelqu'autre liqueur, qu'on peut s'assurer de l'effet dont il est question.

Les liquides qui se gelent, se désaisissent aussi de l'air qu'ils contiennent à mesure que leurs parties se rapprochent ; & quand cet air qui étoit disséminé dans les pores en particules insensibles, s'en trouve exclu, il se rassemble en plusieurs bulles, & prend différentes formes dans la masse, s'il s'y trouve renfermé & retenu par les progrès trop rapides de la congélation. Je pourrois appeller en preuves les phénoménes de la glace ; mais il sera temps d'en faire mention lorsque je traiterai de l'eau & de ses différens états.

X. LEÇON.

Le dernier procédé, & celui qui eſt peut-être le plus efficace de tous, pour ſéparer l'air des matieres avec leſquelles il ſe trouve mêlé, c'eſt la diviſion de leurs parties, ſur-tout ſi cette diviſion va juſqu'à les décompoſer, comme il arrive ordinairement lorſqu'on fait putrifier, fermenter, diſtiller, ou brûler les corps mixtes.

Que la quantité d'air que l'on tire ainſi, égale preſque le volume des corps d'où il ſort, c'eſt une merveille que l'on n'a dû croire que d'après l'expérience; mais que cet air extrait, & ſoumis au poids de l'atmoſphere, ſurpaſſe un grand nombre de fois la grandeur de ces mêmes corps qui le contenoient, c'eſt ce qu'on ne peut apprendre ſans étonnement; & l'on ſeroit tenté d'en douter, ſi les Auteurs les plus accrédités, de qui nous tenons cette découverte, n'avoient appuyé leurs temoignages ſur un détail bien circonſtancié de leurs épreuves. Celles de MM. Mariotte & Hales m'ont paru les plus déciſives; c'eſt dans leurs écrits que j'ai puiſé les preuves ſuivantes: le lecteur qui prendra la peine de les chercher dans leurs

X. LEÇON.

ſources, y trouvera un grand nombre de faits, plus curieux les uns que les autres, & qui établiſſent de concert la doctrine que je viens d'expoſer.

XVII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 35. repréſente une taſſe de métal fort mince, au fond de laquelle on a pratiqué un enfoncement que l'on emplit d'une groſſe goutte d'eau; on verſe enſuite de l'huile d'olives, juſqu'à la hauteur d'un travers de doigt, & l'on couvre la goutte d'eau d'un petit vaſe de verre qui a la forme & à-peu-près la grandeur d'un dé à coudre, ayant attention qu'il ſoit plein d'huile, ce qu'il eſt aiſé de faire en l'inclinant dans la taſſe avant que de le placer debout.

EFFETS.

Si l'on tient la taſſe ſur une bougie ou ſur une lampe allumée, pour faire chauffer la goutte d'eau; 1°. Il s'en éléve peu-à-peu une grande quantité de petites bulles d'air, qui, lorſque tout eſt refroidi, occupent dans le vaſe de

verre, un eſpace plus grand (*a*) que le volume de la goutte d'eau d'où elles ſont ſorties : 2°. l'huile qui reſte dans le petit vaſe de verre, perd ſa tranſparence, en ſe refroidiſſant.

X. LEÇON.

EXPLICATIONS.

A meſure que la goutte d'eau s'échauffe, les parties s'écartent un peu les unes des autres; les pores ou petits intervalles qui ſont entr'elles, ſe dilatent, les particules d'air qui ſe trouvoient retenues deviennent plus libres, & leur légéreté reſpective ſuffit alors pour les dégager entiérement, & pour les élever dans la partie ſupérieure du petit vaſe de verre. Mais ce qui aide encore davantage cette ſéparation, c'eſt que la même chaleur qui dilate la goutte d'eau, dilate auſſi les petites bulles d'air, & leur volume conſidérablement augmenté les rend d'autant plus légeres, & par conſéquent d'autant plus propres à s'élever au-deſſus de l'eau & de l'huile. On peut

(*a*) M. Mariotte dit 8 *ou* 10 *fois plus grand*; cependant quoique j'aye repété cette expérience bien des fois, & avec ſoin, je n'ai jamais trouvé tant d'air au haut du petit vaſe.

ajouter encore que la liquidité de l'eau & de l'huile augmente par l'action du feu, que le frottement & la viscosité diminuent d'autant; ce qui donne lieu aux bulles d'air de se dégager & de s'élever plus facilement.

La colonne d'huile qui couvre la goutte d'eau devient opaque, parce que la chaleur y éleve la vapeur de l'eau, qui se mêle aux parties de l'huile, & qui forme avec elles des molécules dont l'assemblage devient moins perméable à la lumiere : soit que les pores de ce liquide composé soient moins directs qu'ils ne le sont dans l'eau & dans l'huile séparément; soit que ses parties deviennent trop grossieres. Cette derniere raison (qui n'exclut point l'autre) paroît d'autant plus probable, que cette même huile chargée d'eau & devenue opaque, reprend presque sa premiere transparence lorsqu'on la fait chauffer de nouveau, sans doute, parce qu'alors les parties atténuées par l'action du feu laissent à la lumiere un passage plus libre.

XVIII.

XVIII. EXPERIENCE.

X. LEÇON.

PREPARATION.

LA préparation de cette expérience ſe fait à-peu-près comme celle de la précédente, excepté ſeulement, qu'on employe des vaſes plus grands, & qu'au lieu d'une goutte d'eau au fond de l'huile, on met dans de l'eau tiede un petit cylindre de ſucre commun, égal à la partie *A B*, priſe intérieurement. *Fig.* 35.

EFFETS.

A meſure que le ſucre ſe fond dans l'eau, on en voit ſortir des bulles d'air qui s'élévent vers la partie ſupérieure du vaiſſeau; & lorſque la diſſolution eſt faite, la quantité d'air qui s'eſt élevée égale aſſez ſouvent les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{3}{4}$ de l'eſpace *A B*.

EXPLICATIONS.

L'eau chaude, en pénétrant dans le ſucre, déſunit ſes parties, & les ſubdiviſe; alors les petites bulles d'air qu'elles renfermoient entr'elles, étant comme iſolées, s'élévent au travers de

l'eau qui eſt toujours beaucoup plus peſante. La quantité de ces particules d'air varie ſelon la qualité du ſucre, & la ſolution plus ou moins parfaite de ſa maſſe : mais on peut toujours comparer le volume d'air qui eſt ſorti, à celui du ſucre qu'on a fait fondre, puiſque l'eſpace *AB* ſert de meſure commune à l'un & à l'autre.

XIX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut joindre la cornue *A B*, *Fig.* 36. dans laquelle on aura mis quelque matiere à diſtiller, au matras *AC*, avec quelque eſpece de lut qui ne ſe fonde point à une médiocre chaleur, & qui ne ſe diſſolve point non plus par une légere humidité. Ces deux vaiſſeaux étant ainſi joints, il faut faire entrer dans le col du dernier une branche du ſiphon *E D F*, par un trou pratiqué au fond du vaiſſeau; on plonge enſuite le matras & le ſiphon dans l'eau, afin que le premier s'empliſſe par *D*, juſqu'à la hauteur *F*; ce qui ſe fait aiſément par le moyen du ſiphon qui permet à l'air de s'échapper : on ôte

ensuite ce siphon, & l'eau demeure suspendue à la hauteur *F*, par la pression de l'atmosphere qui agit sur celle du bacquet. Enfin l'on chauffe la cornue, en la posant sur un fourneau disposé à une hauteur convenable. Si les matieres que l'on distille rendent de l'air, on s'en apperçoit, parce que le volume de celui qui est renfermé en *A F*, augmente; si au contraire elles en absorbent, comme il paroît en certains cas, on le voit aussi par la diminution de ce même volume d'air. Et si l'on veut comparer la quantité d'air rendu ou absorbé, à celle des matieres qu'on a mises dans la cornue, on le peut facilement en réduisant à une mesure connue, comme au pouce cubique, par exemple, ce qu'on met dans la cornue: car après la distillation, on pourra voir combien il faut de pouces cubiques d'eau pour remplir l'espace occupé par l'air, en plus au-dessous, ou en moins au-dessus de *F*.

Mais ce volume d'air que l'on veut mesurer, ne doit l'être que quand tout est refroidi au même degré que l'étoit celui de la partie *A F*, au moment

X. LEÇON.

que l'on a commencé l'expérience ; car on ſait combien quelques degrés de chaleur de plus ou de moins peuvent faire varier les dimenſions de ce fluide ; & pour n'avoir point d'erreur conſidérable à ſoupçonner à cet égard, il faudroit y avoir enfermé un petit thermométre très-ſenſible.

Une autre attention que l'on doit avoir encore, ſi l'on veut procéder avec exactitude, c'eſt de conſulter la hauteur du barométre, au commencement & à la fin de l'expérience, pour s'aſſurer ſi le poids de l'atmoſphere n'a point varié pendant l'opération : car il eſt certain que le volume d'air contenu dans le col du matras doit augmenter ou diminuer, ſelon que l'eau y ſera pouſſée plus ou moins haut, par la preſſion de l'air extérieur ſur la ſurface du bacquet.

Enfin s'il s'agiſſoit d'une exactitude ſcrupuleuſe, on devroit conſidérer encore, que la colonne d'eau qui demeure au-deſſus du niveau, ou qui eſt portée au-deſſous, par la quantité plus ou moins grande de l'air qui occupe le col du matras, empêche que cet air ne ſoit jamais d'une denſité

parfaitement égale à celle de l'air extérieur ; mais heureusement dans la plûpart de ces épreuves, on peut se contenter d'un à-peu-près ; & le Physicien doit souvent se mettre au-dessus des minucies, pour n'être point découragé dans ses recherches.

X. LEÇON.

Effets.

Par des procédés à-peu-près semblables à celui que je viens de décrire, M. Hales * ayant éprouvé toutes sortes de matieres animales, végétales & minérales, solides & liquides, a trouvé, par exemple, qu'un pouce cubique de sang de cochon, distillé jusqu'aux scories seches, produisoit 33 pouces cubiques d'air.

* *Stat. des Véget. ch. 6.*

Que la moitié d'un pouce cubique de la pointe des cornes d'un daim, donnoit 117 pouces cubiques d'air, ce qui faisoit un volume 234 fois aussi grand que celui de la matiere distillée.

Que d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, il en sortoit 128 pouces cubiques d'air.

Que d'un pouce cubique de terre

vierge, il vint à la diſtillation 43 fois autant d'air.

Le même Auteur trouva que l'eau forte, le ſoufre, & pluſieurs autres matieres, bien loin de rendre de l'air, en abſorboient; c'eſt-à-dire, qu'après la diſtillation, le volume d'air contenu en *AF*, ſe trouvoit moins grand qu'il n'étoit avant l'expérience.

Explications.

Lorſqu'on diſtille une matiere, l'action du feu diviſe ſes parties, les réduit, & les éleve en vapeurs. Les particules d'air qui ſe trouvent dans la maſſe demeurant iſolées par ſa diviſion, & par ſon évaporation, s'uniſſent avec le volume d'air qui eſt renfermé dans la cornue & dans le col du matras, & ce volume eſt d'autant augmenté: de-là il arrive que la ſurface de l'eau baiſſe communément au-deſſous de *F*.

Mais ſi la matiere que l'on diſtille eſt de telle nature que l'air s'uniſſe à elle plus facilement & plus fortement qu'il ne peut s'unir avec d'autre air, non-ſeulement cette matiere ne ſe déſaiſit point des particules d'air qu'elle

contient; mais acquerant plus de ſurface par ſa diviſion, elle s'approprie encore de nouvelles parties d'air en paſſant par l'eſpace *A F*; & l'eau s'éleve d'autant, pour occuper la place de l'air abſorbé.

X. LEÇON.

Ce que l'on a de la peine à comprendre, c'eſt qu'il puiſſe ſe loger une ſi grande quantité d'air dans certaines matieres, ſans qu'il y paroiſſe comprimé, autant qu'il faudroit qu'il le fût, ſi l'on vouloit le réduire à un auſſi petit volume, lorſqu'une fois il eſt dégagé; car quelle force ne faudroit-il pas pour reſtraindre dans l'eſpace d'un demi-pouce cubique 234 fois autant d'air ſemblable à celui de l'atmoſphere?

Ce phénoméne nous apprend que l'air intimement mêlé à d'autres matieres, y eſt dans un état tout différent de celui où nous le voyons lorſqu'il en eſt dégagé; quel eſt donc cet état de l'air dans l'intérieur des corps? & comment en reçoit-il un autre lorſqu'il ſe dégage?

On peut ſuppoſer, comme l'ont fait pluſieurs habiles Phyſiciens * de nos jours, que les parties de l'air,

* *M. de Mairan, Diſ-*

X. LEÇON.

sertat. sur la glace.

Mariotte, Essais sur la nature & les propriétés de l'air.

lorſqu'il eſt intimement mêlé à quelqu'autre matiere, ne ſe touchent plus; & qu'elles ſont immédiatement appliquées aux parties même du corps qui les contient, comme pourroient être de petits poils ou des filets de coton qui envelopperoient, par exemple, des grains de ſable, ou qui ſeroient logés ſéparément dans les intervalles qui ſe trouveroient à remplir entre ces mêmes grains raſſemblés en une maſſe : car quoique pluſieurs brins de coton enſemble forment ordinairement un petit flocon flexible, & qui occupe un eſpace aſſez ſenſible, à cauſe de tous les vuides qui font partie de ſon volume; on conçoit bien cependant qu'il en occuperoit incomparablement moins par ſa matiere propre, & ſi ſes vuides remplis d'une autre ſubſtance ne contribuoient plus à ſa grandeur. On doit convenir auſſi que ſa flexibilité, & par conſéquent ſon reſſort, ſeroit nulle, ſi chacun de ces petits filets étoit ſoutenu par un corps dur, comme il arriveroit infailliblement, ſi l'eſpace de l'un à l'autre étoit rempli par une matiere ſolide.

Cette hypothese est d'autant plus vraisemblable, que l'air ne paroît contribuer ni à la compressibilité des corps, ni à leur dilatabilité : l'esprit-de-vin des thermométres étant purgé d'air *, n'en paroît ni plus ni moins sensible à l'augmentation du froid ou du chaud : & les corps qu'on a tenus dans le vuide, n'en sont pas moins compressibles, quoiqu'on en ait vu sortir une quantité d'air assez considérable. L'air dans l'intérieur des corps, est donc, comme dit M. Hales, dans un état de fixité ; & lors même qu'il s'en dégage, il n'acquiert point de ressort, s'il emporte avec lui quelque substance étrangere qui l'empêche de se joindre à d'autre air, pour former de petits globules : car ce n'est que dans ce dernier état, qu'il peut être flexible & élastique.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. pour l'ann.* 1731. *p.* 267.

Ce raisonnement, je l'avoue, est fondé sur des faits incontestables ; mais il en est d'autres, qui ne sont ni moins certains ni moins connus, & qui nous portent à raisonner tout autrement ; lorsqu'une matiere passe dans le vuide, ou que l'action du feu ou d'un dissolvant diminue, ou fait

X. LEÇON.

cesser la cohérence de ses parties, on voit aussi-tôt l'air s'en dégager ; ne devons-nous pas penser que cet air étoit dans l'état d'un ressort tendu, & qu'il n'attendoit pour se déployer que la suppression des obstacles qui l'en empêchoient ?

Voici ce que l'on peut dire pour concilier ces phénoménes qui semblent se contredire : l'air, dans la plûpart des corps, se trouve sous deux états différens ; les plus grands vuides, ces pores qui communiquent ensemble, le contiennent en globules, ou pour mieux dire, en petites colonnes que le poids de l'atmosphere a condensées, & qui, par la continuité de leurs parties ont conservé la faculté de s'étendre & de se porter en dehors lorsque la pression extérieure vient à cesser; l'autre air beaucoup plus divisé, ne remplit que des pores isolés plus petits, & la matiere qui l'environne a plus de cohérence qu'il n'a d'élasticité. Pour dégager le premier, il suffit ou d'augmenter fortement son ressort par la chaleur, ou de lever l'obstacle qui le tient tendu : ces deux moyens sont faciles ; 1^{ment}, par-

ce que le reſſort de l'air s'anime d'autant mieux que ſon volume eſt plus grand ; 2ment, parce que les pores qui contiennent ces petites colonnes ſont ouverts juſqu'à la ſurface. Il n'en eſt pas de même de l'autre air, il faut, pour l'extraire, diviſer le corps juſques dans ſes moindres parties ; & comme on ſuppoſe ce fluide réduit preſque à ſes premiers élémens, on ne doit rien attendre de ſon reſſort, pour aider cette ſéparation.

A l'aide de cette ſuppoſition, je conçois comment l'air ne rend ni plus dilatables, ni plus compreſſibles les matieres avec leſquelles il eſt mêlé, quoiqu'il y jouiſſe de ſon élaſticité ; car 1°. ſi les petits globules contigus les uns aux autres dans toute l'étendue de chaque pore, s'y trouvent contenus comme dans une gaine, dont les parties ſolides ſe ſoutiennent mutuellement, ce canal comprimé par dehors, n'empruntera rien de la flexibilité de l'air qu'il renferme, & par conſéquent le corps entier qui n'eſt qu'un aſſemblage de ces tuyaux, ne ſera ni plus ni moins compreſſible, ſoit que ſes pores ſoient

X. LEÇON.

remplis d'air, soit qu'ils en soient vuides. 2°. Si ces colonnes d'air moulées dans les pores sont composées de globules fort petits, comme on le doit supposer, l'action modérée du feu ne pourra les dilater que très-peu; & leur accroissement n'excédera pas sensiblement celui des pores qui se dilatent aussi par le même degré de chaleur: ainsi la masse totale ne sera ni plus ni moins dilatable, soit qu'elle contienne de l'air élastique, soit qu'elle n'en contienne pas.

Mais cet air même le plus intimement mêlé; celui que nous regardons comme n'ayant point de ressort, parce qu'il est extrêmement divisé, n'en a-t-il point en effet? Ses parties, au lieu d'être devenues trop courtes pour être flexibles, ne seroient-elles pas plutôt repliées sur elles-mêmes autant qu'il est possible qu'elles le soient? & leur inflexibilité ne viendroit-elle pas de ce qu'elles ne pourroient plus s'approcher davantage, à-peu-près comme un fil roulé en peloton, devient un corps dur qu'on a peine à comprimer, & qui, lorsqu'il se développe, occupe une place

incomparablement plus grande. En m'arrêtant à cette idée, j'apperçois la raiſon pour laquelle cet air extrait des corps prend un volume ſi conſidérable qu'il excéde deux ou trois cens fois celui dont il faiſoit partie. La nature a pu ſe ménager des moyens pour reſtraindre ainſi les particules d'air qu'elle fait entrer dans la compoſition des mixtes ; & la cohérence de ces mêmes corps, quelle qu'en ſoit la cauſe, eſt une puiſſance qui peut ſuffire pour réſiſter à ſa réaction.

Une raiſon que l'on peut ajouter encore pour expliquer cette prodigieuſe extenſion de l'air extrait, c'eſt que cet air n'eſt point pur ; c'eſt un fluide composé, qui tient beaucoup des matieres d'où il ſort ; je ne veux pour preuves que les effets dont il eſt capable : celui que l'on tire de la pâte fermentée, des fruits, & de la plûpart des végétaux, éteint le feu, ſuffoque les animaux, & ſe fait ſentir par une odeur pénétrante *; il eſt donc évident que cet air eſt chargé d'une vapeur abondante, qui fait partie de ſon volume, & l'on ſait d'ailleurs que toutes les ſubſtances qui s'é-

*Boyle, Exp. Phyſ. Mech. continuat. 2. Hales, Stat. des végét. p. 152.

X. LEÇON.

vaporent, s'étendent prodigieuſement; ainſi les cent vingt-huit pouces cubiques d'air qui ſortent d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, ſe réduiroient vraiſemblablement à une quantité bien moins grande, ſi l'on en ſéparoit ce qu'ils contiennent d'étranger.

APPLICATIONS.

LES alimens tant ſolides que liquides qui entrent dans l'eſtomac, s'y décompoſent par la digeſtion; ils ſe déſaiſiſſent par conſéquent de l'air qu'ils contiennent; cet air ainſi dégagé ſe raſſemble en bulles, & prend un volume beaucoup plus conſidérable; non-ſeulement parce qu'il ſe développe & s'étend lorſqu'il eſt libre, comme on l'a vû par les expériences précédentes; mais encore parce qu'il éprouve un degré de chaleur aſſez grand, qui dilate ce fluide d'autant plus que ſa maſſe eſt plus ample,

Si l'air qui ſe dégage ainſi des alimens dans l'eſtomac, ne trouve point d'iſſue libre pour en ſortir, il preſſe & diſtend les parties qui le retiennent, & ſes efforts font naître quel-

quefois des douleurs assez vives, que l'on nomme *coliques de vents*.

X. LEÇON.

Lorsque rien ne s'oppose à son passage, il sort par la bouche, & cause ces rapports le plus souvent désagréables & plus ou moins fréquens, selon la quantité des alimens qu'on a pris, leurs qualités, leurs préparations, ou la disposition actuelle de l'estomac qui les digere.

Ces rapports déplaisent presque toujours, quoique l'on ait mangé ou bû des substances qui soient par elles-mêmes d'une odeur & d'un goût fort agréables : c'est que la digestion les décompose, & que l'air qui s'en exhale n'en emporte que des extraits: or dans les alimens les plus sains, il y a des parties, qui lorsqu'elles sont séparées des autres, sont capables d'affecter nos sens d'une maniere déplaisante ou même dangéreuse. Le pain & la pâte de froment, le raisin & les autres fruits, &c. sont du goût de tout le monde, & ne nuisent point au commun des hommes ; cependant l'air qui en sort, quand on les fait fermenter, est infect & mortel.

Un estomac surchargé d'alimens,

X. LEÇON.

eſt plus incommodé qu'un autre de ces ſortes d'exhalaiſons ; on en voit aſſez la raiſon. Mais la qualité & la préparation ſont deux choſes qui ont beaucoup de part à cet effet. En général les liqueurs ſpiritueuſes & fermentées comme le vin, la biere, &c. & tous les alimens cruds, portent avec eux une très-grande quantité d'air ; & l'on doit s'attendre d'en être incommodé, ſi l'on n'en uſe avec modération.

Un uſage modéré des alimens ne garantit pas même toujours des rapports d'eſtomac ; on voit des perſonnes précautionnées & ſobres, qui s'en plaignent beaucoup. C'eſt qu'alors il y a ſans doute quelqu'humeur vicieuſe qui occaſionne une mauvaiſe digeſtion. Suivant nos principes, cette digeſtion eſt mauvaiſe par excès ; car puiſqu'elle rend une plus grande quantité d'air, il paroît que les alimens ſont plus diviſés ; ainſi en pareil cas, on pourroit dire peut-être que l'on digere trop ; mais ceci paſſe les bornes de mon deſſein, c'eſt une queſtion que je ſoumets à l'examen de la faculté.

En

En certains temps de l'année le vin & la biere travaillent dans les tonneaux & dans les bouteilles ; c'est-à-dire, qu'il s'y fait une légere fermentation, sur-tout si ces liqueurs sont remuées ou placées dans des lieux qui ne soient pas assez frais. Ces mouvemens intestins ne manquent point de donner lieu aux particules d'air de se dégager & de monter à la surface ; & comme il lui faut alors beaucoup plus de place qu'il n'en occupoit lorsqu'il étoit divisé & logé dans les pores, il sort avec impétuosité, dès qu'on débouche les vaisseaux, & ses efforts vont même jusqu'à les faire crever, lorsqu'on néglige de lui ouvrir un passage.

Dans les laboratoires de chymie, les artistes ont grand soin de laisser une issue à l'air, quand ils lutent leurs vaisseaux ; l'usage leur a appris que sans cette précaution, les ballons sont en danger de crever avec éclat : quand cet accident arrive, on a coutume de s'en prendre à la masse d'air qu'on a laissé enfermé dans le récipient, & que la chaleur dilate ; & en effet cette cause y contribue, mais la rupture

X. LEÇON.

des vaisseaux vient principalement de la quantité d'air qui sort de la plûpart des matieres qu'on distille ; car pour l'ordinaire, le ballon est capable de résister aux efforts de l'air qu'on y renferme, & qui n'y souffre qu'un degré de chaleur assez médiocre.

Quand on enfonce une canne ou un bâton dans la vase au bord d'une riviere ou d'un étang, on voit communément beaucoup de bulles d'air s'élever à la surface de l'eau ; cet air vient sans doute des feuilles, des branches d'arbres, des plantes & autres végétaux qui se sont amassés & pourris au fond ; il demeure engagé dans la boue jusqu'à ce qu'on lui ouvre une issue.

Si l'on fait sortir l'air d'une matiere sans désunir les parties de sa masse, en la plaçant, par exemple, dans le vuide ; dès qu'on l'expose ensuite à l'air libre, elle reprend ce qu'on lui a ôté, à-peu-près comme une éponge qui se remplit toujours d'eau, toutes les fois qu'on l'y plonge après l'avoir pressée. M. Mariotte * s'est assûré du fait par une expérience

* *Essai sur la nature & les propriétés de l'air.*

aussi simple qu'ingénieuse. Il purgea d'air une certaine quantité d'eau, en la faisant bouillir; & en la mettant ensuite quelque temps dans le vuide, il en remplit une phiole qu'il renversa dans un vase plein d'eau, sans la boucher, en observant de faire monter dans le haut une bulle d'air de la grosseur d'une aveline; peu-à-peu il vit diminuer cet air, qui disparut enfin tout-à-fait au bout d'environ 3 jours, ce qui lui fit connoître évidemment que l'eau de la phiole s'en étoit saisie; ce qui s'est passé à l'égard de l'eau, arriveroit sans doute à tout autre matiere; on pourroit tout-au-plus soupçonner quelques variétés, dans la quantité d'air qui rentre, ou dans le temps qu'il met à rentrer.

Des expériences d'un autre genre ausquelles j'étois occupé, ayant exigé que je susse avec plus de précision, en combien de temps l'eau peut reprendre l'air qu'elle a perdu par l'ébullition & par la suppression du poids de l'atmosphere, je fis l'expérience qui suit.

X. Leçon.

XX. EXPERIENCE.

Preparation.

A Fig. 37. eſt une caraffe que je remplis d'eau, récemment purgée d'air, environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité; je la bouche avec du liege que je couvre enſuite d'une couche de cire fondue & mêlée avec de la térébenthine; au travers de ce bouchon je fais paſſer le bout du tuyau de verre *BCD*, qui eſt recourbé en deux ſens oppoſés, & dont la partie *CD* attachée ſur une planche graduée en pouces & en lignes, eſt ſoutenue verticalement ſur un pied. Je fais encore paſſer au travers du même bouchon le tube d'un thermométre, dont la boule eſt en partie plongée dans l'eau de la caraffe. Je place enſuite cette même caraffe dans un ſeau qui eſt rempli d'eau, ainſi que la partie *CE* du tuyau; je marque alors avec un fil *K*, la hauteur du thermométre, & j'obſerve au barométre celle du mercure, au moment que je commence l'expérience.

Tout étant ainsi disposé, je remarque de 12 en 12 heures l'ascension de l'eau dans le tuyau au-dessus du point *E*; & pour être sûr que l'air est toujours d'une égale densité entre l'eau du tuyau & celle de la caraffe, à chaque observation, je prend soin, 1°, de rappeller le bain du seau *GH* à sa premiere température, en le réchauffant ou en le refroidissant jusqu'à ce que la liqueur du thermométre revienne, & se fixe au fil *K*, 2°: Je vois de combien le mercure a haussé ou baissé dans le barométre: & comme une ligne de mercure répond à 14 lignes d'eau pour le poids, je les ajoute ou je les diminue dans la partie *CD* du tuyau, afin que la pression de l'atmosphere demeure toujours à-peu-près la même.

La quantité d'eau qui s'éleve au-dessus du point *E*, indique, comme on voit, le volume d'air qui rentre dans l'eau de la caraffe; & après l'expérience, on peut comparer ce volume d'air à celui de l'eau dans laquelle il rentre, en mesurant avec un chalumeau renflé *F*, combien de fois l'eau de la caraffe surpasse celle qui

s'eſt élevée au-deſſus du point *E*.

EFFETS.

En procédant ainſi j'ai obſervé : 1°, Que l'eau du tuyau s'eſt élevée continuellement pendant 7 à 8 jours au-deſſus de *E* :

2°, Que le progrès de ſon aſcenſion a toujours été en diminuant, de façon que dès le ſixieme jour, il étoit preſqu'inſenſible ;

3°, Que la ſomme de toutes les quantités d'eau élevées égaloit à-peu-prés la trentieme partie de celle de la caraffe.

EXPLICATIONS.

La maſſe d'eau qui eſt dans la caraffe, eſt à l'égard de l'air qui eſt contenu au-deſſus, à-peu-près comme un corps ſpongieux que l'on a preſſé ou deſſeché, & que l'on applique à la ſurface de quelque liqueur ; les pores qui ont été vuidés, comme autant de petits tubes capillaires, abſorbent le fluide qui s'y préſente, & qui eſt encore aidé par la preſſion de l'atmoſphere qui agit en *D*. Mais comme l'air eſt compoſé de parties rameuſes, ou

de petites lames tortillées, ce n'eſt que peu-à-peu qu'il s'atténue, & que ſes globules peuvent ſe proportionner aux petites capacités tortueuſes qu'il doit remplir; la difficulté qu'il a pour s'introduire dans l'eau, devient d'autant plus grande, que la maſſe de la liqueur eſt plus profonde; & c'eſt par ces raiſons, ſans doute, qu'il la pénétre ſi lentement, & que les progrès de cette pénétration vont toujours en diminuant.

Applications.

En ſuivant le procédé de l'expérience précédente, on peut connoître à-peu-près la quantité d'air que l'on a fait ſortir d'une matiere; car il y a toute apparence, qu'après un temps ſuffiſant, ce qui eſt rentré eſt égal à ce qui en étoit ſorti; & conſéquemment on pourra juger entre pluſieurs eſpeces, celle qui abonde le plus en air, celle qui le reprend plus promptement, & combien de temps on peut la regarder comme étant purgée d'air.

Ne pourroit-on pas même par ce moyen introduire certaines odeurs

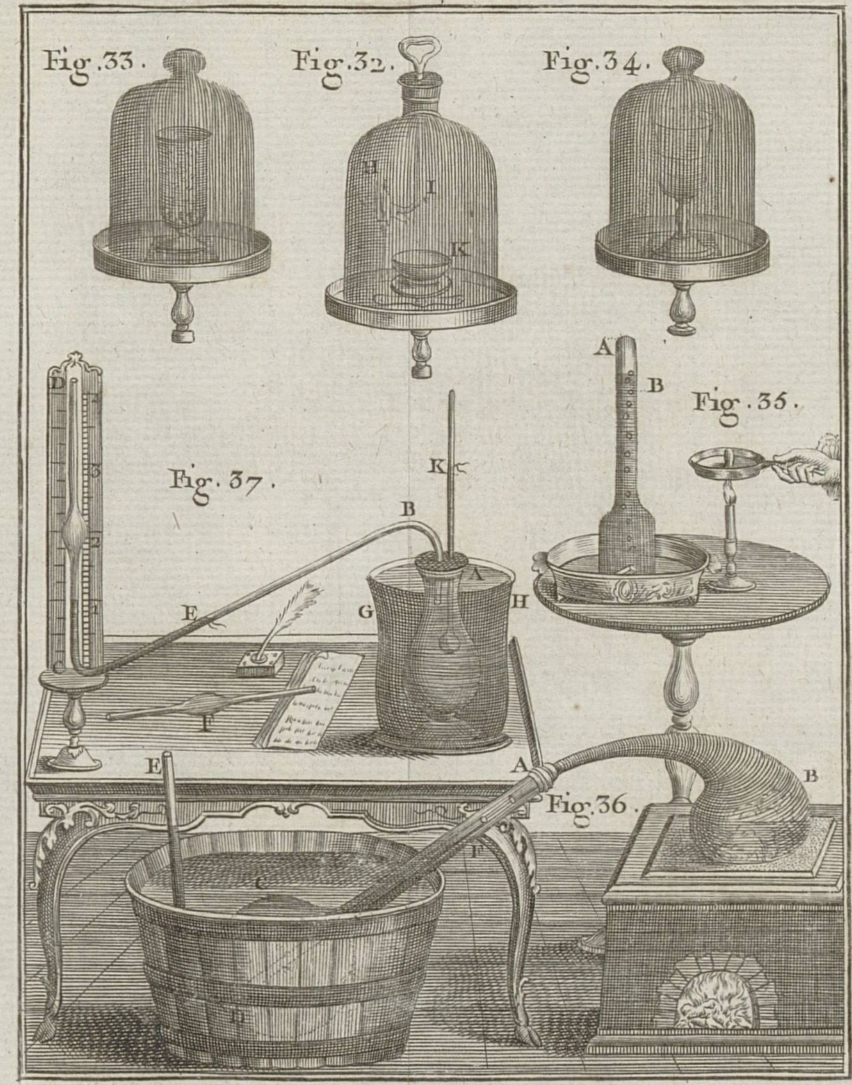
X. LEÇON.

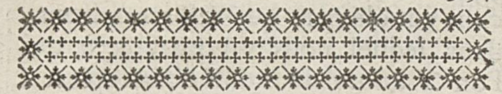
dans des matieres fluides ? car l'air en y rentrant, pourroit ſervir de véhicule aux parties odorantes, dont il ſe charge trés-facilement, & en très-grande quantité.

Ces différentes vûes ouvrent un champ aſſez vaſte à de nouvelles & curieuſes expériences ; j'en ai déja tenté avec quelque ſuccès pluſieurs, dont je rendrai compte ailleurs; je ſouhaite que mon exemple excite le zele des Phyſiciens ; la même matiere maniée par différentes mains, fournit ordinairement un plus grand nombre de connoiſſances.



XI. LEÇON.


Fig. 33.
Fig. 32.
H
I
K
Fig. 34.
A
B
Fig. 35.
D
Fig. 37.
K
B
A
G
H
E
F
E
A
B
Fig. 36.
C
F
D



XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

II. SECTION.

De l'Air considéré comme Atmosphere terrestre.

XI. Leçon.

LA plûpart des matieres terrestres contiennent beaucoup d'air entre leurs parties, comme nous l'avons fait voir à la fin de la Leçon précédente ; réciproquement aussi, une masse d'air quelconque se trouve toujours mêlangée de quelques substances étrangeres, & l'on peut dire d'elle, comme de tout autre corps, qu'elle n'est jamais parfaitement pure, c'est-à-dire, qu'elle comprend toujours dans son volume quelqu'autre chose que sa matiere propre. Tout ce qui s'exhale de la terre & des eaux, des animaux & des plantes, entre aussi-tôt

XI. LEÇON.

dans cet élément que nous respirons ; dans lequel nous vivons, & à qui l'on a donné le nom d'*Atmosphere*, parce qu'il envelope de toutes parts le globe dont nous habitons la surface. C'est un fait dont nous avons essayé de rendre raison *, en supposant qu'il étoit suffisamment connu ; & en effet, si l'on en pouvoit douter, la dissipation d'une infinité de substances qui disparoissent tous les jours à nos yeux, & l'opinion raisonnable & généralement reçue, que rien ne s'anéantit de tout ce qui a été créé, suffiroient pour nous convaincre de cette vérité : lorsque le feu décompose un mixte, ne voyons-nous pas les parties les plus subtiles s'élever en flamme & en fumée ! Quand le cadavre d'un chien ou d'un cheval qu'on a jetté à la voierie, diminue de jour en jour, & devient à rien, n'est-ce point toujours en infectant les environs par une mauvaise odeur, effet, comme on sait, des parties qui s'en exhalent ? Enfin quelqu'un ignore-t-il que les vaisseaux qui contiennent des liqueurs, se vuident par évaporation, si l'on néglige de les boucher ? L'at-

* *Tome II. page* 110. & *suiv.*

mosphere terrestre est donc un fluide mixte, un air chargé d'exhalaisons & de vapeurs. Son état varie selon les temps & les lieux, parce que les parties qui entrent dans ce mêlange, ne sont pas toujours ni par-tout en même quantité, ni avec les mêmes qualités.

On peut considérer l'atmosphere sous deux aspects différens : 1ment, comme un fluide en repos, qui pése également de toutes parts sur la terre, qui reçoit d'elle des matieres de différentes natures, qui les soutient pendant un temps, qui les laisse retomber, & qui nous transmet le chaud & le froid dont il est susceptible : 2ment, comme un fluide agité, dont les mouvemens peuvent être différemment modifiés. En examinant l'atmosphere sous ces deux points de vûe, nous parcourons dans les deux articles suivans ses principales propriétés.

ARTICLE PREMIER

De l'Atmosphere considérée comme un fluide en repos.

Le repos que je suppose ici ne doit point s'entendre dans un sens

XI. LEÇON.

absolu, & pour toute l'atmosphere en même-temps; car à la rigueur les parties qui la composent sont dans un mouvement presque continuel, puisqu'elles s'élévent ou s'abaissent fréquemment, & que les changemens de température les étendent ou les resserrent alternativement. Indépendamment de ces vicissitudes, il ne regne jamais un calme si complet dans ce vaste fluide, qu'il n'y en ait toujours quelque portion agitée; & d'ailleurs l'atmosphere est une dépendance du globe terrestre qui se meut comme lui & avec lui en 24 heures sur un axe commun, & en un an dans le même orbe autour du soleil; ainsi quand je la considere comme étant en repos, c'est bien moins en lui attribuant absolument cet état, qu'en faisant abstraction de ses principaux nouvemens.

Nous ne voyons jamais qu'aucune portion de l'atmosphere perde sa fluidité, quoiqu'une grande partie de ce qui la compose soit propre à former des corps solides: l'eau s'y durcit & retombe en petits glaçons; mais l'air dans lequel elle étoit soutenue ne se

congéle point avec elle ; c'eſt que ces parties aqueuſes, quelqu'abondantes qu'elles ſoient, ne le ſont jamais aſſez pour intercepter entiérement la contiguité des parties propres d'un volume d'air un peu conſidérable ; & cet élément, tant qu'il fait maſſe conſerve toujours ſon reſſort, qui paroît être, comme nous l'avons dit ci-deſſus, la principale cauſe de ſa fluidité.

Toute matiere qui appartient à la terre a une tendance naturelle vers le centre de cette planete. Or comme l'atmoſphere eſt composée d'air, & d'un extrait, pour ainſi dire, de tous les corps ſublunaires, dont nous avons prouvé la peſanteur dans les Leçons précédentes, on ne peut douter qu'elle ne péſe ſur nous & ſur tout ce qui s'y trouve plongé comme nous : on en a douté cependant, ou plutôt, on a été très-long-temps ſans y faire attention. Nous avons dit ailleurs * de quelle maniere enfin l'on s'en eſt convaincu, & comment la connoiſſance du poids de l'atmoſphere a éclairé les Phyſiciens ſur pluſieurs phénoménes qui en réſultent.

* *Tome I. p. 290. & ſuiv.*

XI. LEÇON.

Mais cette peſanteur eſt celle d'un fluide ; elle doit donc croître & diminuer ſelon la hauteur des colonnes & la largeur de leur baſe ; c'eſt auſſi ſelon cette proportion qu'elle agit, comme on l'a déja vû dans la ſeptieme Leçon, où nous avons rapporté l'origine du barométre, ſes principaux uſages, & l'épreuve qu'on en fit dans les différentes ſtations de la montagne du Puy de Dome en Auvergne : je rapporterai encore ici une expérience du même genre, & d'une exécution plus facile, qui me donnera occaſion d'expoſer ce qu'il me reſte à dire ſur cette matiere.

PREMIERE EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Il faut faire choix de quelque lieu élevé & acceſſible, comme d'une tour, d'un clocher, ou de quelque autre édifice, dont on puiſſe aiſément meſurer la hauteur perpendiculaire, & ſe munir de deux barométres bien ſemblables ; c'eſt-à-dire, que dans le même lieu le mercure ſoit toujours dans l'un & dans l'autre à des hau-

teurs pareilles. On laiſſe un de ces inſtrumens au pied de la tour avec un Obſervateur qui examine attentivement, s'il n'arrive point de variation à la hauteur du mercure, pendant qu'on porte l'autre en haut.

Effets.

1°. A meſure qu'on s'éleve avec le barométre, le mercure s'abaiſſe dans le tube, comme je l'ai déja dit * en rapportant l'expérience de M. Paſcal, exécutée au Puy de Dome par M. Perrier.

* *Tome II. page* 300.

2°. Si, lorſque le mercure s'eſt abaiſſé d'une ligne, on meſure la hauteur de l'endroit où l'on fait cette premiere ſtation, on trouve qu'elle eſt d'environ 12 toiſes.

3°. Si l'édifice ou la nature du lieu permet que l'on s'éleve davantage à des hauteurs connues ou meſurables, on trouve que les ſtations ſuivantes, qui ſe font à chaque fois qu'on obſerve une ligne d'abaiſſement au mercure, ſont toujours à-peu-près de 12 toiſes les unes au-deſſus des autres.

4°. On remarque que les hauteurs perpendiculaires de toutes ces ſta-

XI. LEÇON.

tions, dont chacune répond à une ligne d'abaiſſement du mercure, ſont d'autant plus petites que l'air péſe davantage dans le temps de l'expérience, ſoit par le peu d'élévation du lieu où l'on opere, ſoit par l'état actuel de l'atmoſphere.

5°. Si l'on répéte cette épreuve dans des lieux qui ne ſoient que médiocrement éloignés les uns des autres, & dans des circonſtances qui rendent la preſſion de l'atmoſphere à-peu-près ſemblable, on trouve auſſi à-peu-près les mêmes réſultats; mais lorſque les diſtances ſont très-grandes, comme de 400 ou 500 lieues, on peut s'attendre à des différences aſſez conſidérables.

EXPLICATIONS.

L'atmoſphere ayant plus de hauteur à compter du raiz-de-chauſſée d'une tour, ou du pied d'une montagne, qu'elle n'en a à toutes les ſtations que l'on fait en montant, ſon poids eſt auſſi plus grand; & s'il eſt capable de ſoutenir d'abord 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans chaque barométre, celui des deux que l'on por-

te plus haut ſe trouve ſous une colonne d'air plus courte, qui, par conſéquent ſoutient moins de mercure. Cette diminution de poids dans la colonne de l'atmoſphere ne peut être attribuée qu'à ſon raccourciſſement ; car le barométre de comparaiſon, qu'on a laiſſé dans le lieu le plus bas, & qui ſoutient une colonne entiere, ſoit qu'il varie, ou qu'il ne varie pas pendant l'expérience, ſe trouve toujours plus haut que l'autre, & ſuivant les proportions marquées dans les réſultats ci-deſſus.

Par le ſecond & le troiſiéme de ces réſultats, on voit que chaque ligne d'abaiſſement du mercure dans le barométre répond environ à 12 toiſes de hauteur perpendiculaire dans l'atmoſphere : ce rapport nous donne l'air plus peſant que nous ne l'avons eſtimé dans la Leçon précédente ; car nous avons dit que ſa denſité ou peſanteur ſpécifique eſt à celle de l'eau, à-peu-près comme l'unité eſt à 900 : & comme le mercure peſe 14 fois autant que l'eau, il ſuit qu'une ligne de mercure équivaut à 14 fois 900 lignes d'air dont la ſomme 12600 fait

XI. LEÇON.

15 toises 4 pieds 6 pouces & 8 lignes, au lieu de 12 toises dont nous venons de faire mention dans les résultats précédens.

Mais il faut observer aussi, que de tous ceux qui se sont appliqués à cette recherche par des expériences soigneusement faites en différens temps, & en différens lieu, il en est bien peu qui s'accordent à conclure le même rapport. M. Cassini, après avoir porté le barometre sur la montagne de Notre-Dame de la Garde près de Toulon, évalue à 10 toises & 5 pieds la hauteur de l'air qui soutient une ligne de mercure. M. de la Hire le pere la trouva de 12 toises, par des épreuves qu'il fit sur le Mont-Clairet, dans le voisinage de la même Ville; ce même Académicien la jugea de 12 toises 4 pieds à Meudon, & de 12 toises 2 pieds 8 pouces à Paris. Selon les observations de M. Picart faites au Mont Saint Michel, une ligne de différence dans la hauteur du mercure au barométre, répond à 14 toises 1 pied & 4 pouces d'air. Enfin M. Vallerius *, savant Suédois, qui répéta ces expériences dans son pays

* *Hist. de l'Acad. des Scienc.* 1712 p. 3. & *suiv.*

après avois obſervé les diverſes hauteurs d'un barométre qu'il deſcendit d'abord dans une mine très-profonde, & qu'il porta enſuite au ſommet d'une montagne voiſine, compta pour chaque ligne de mercure 10 toiſes 1 pied & 4 lignes de hauteur dans l'atmoſphere. M. de la Hire * le fils attribue toutes ces différences à deux cauſes principales : 1°. à des couches de vapeurs, qui peuvent régner dans certaines parties de l'atmoſphere, & qui en augmentent pour un temps la peſanteur ; ce qui paroît très-vraiſemblable : 2°. à la ſituation des lieux où l'on fait ces expériences, ou à la peſanteur actuelle plus ou moins grande de l'atmoſphere ; & en effet, on voit par le quatriéme réſultat que la portion d'une colonne d'air qui répond à une ligne de mercure, eſt d'autant plus grande ou plus petite, que cet air eſt plus ou moins denſe ; & la denſité ou le poids d'un fluide compreſſible, croît à meſure qu'il eſt plus chargé, ſoit par ſa propre matiere amoncelée, ſoit par des parties étrangeres qui s'y mêlent.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1712. p. 114.

On peut ajouter encore pour troi-

XI. LEÇON.

ſiéme raiſon, (& c'eſt peut-être la plus forte ;) on peut, dis-je, ajouter qu'il eſt très-difficile d'eſtimer au juſte chaque ligne d'abaiſſement du mercure dans le barométre ; cependant les plus petites erreurs dans cette eſtimation ſont d'une grande conſéquence, lorſqu'il s'agit de juger avec exactitude de la hauteur d'une colonne d'air correſpondante. Car puiſque le mercure ne s'abaiſſe que d'une ligne pour un retranchement d'environ 12 toiſes fait à la colonne d'air, on peut aiſément ſe tromper de quelques toiſes ſur celle-ci ; il ſuffit pour cela qu'il y ait un mécompte d'un $\frac{1}{12}$ de ligne dans l'obſervation du barométre. Ceux qui connoiſſent bien cet inſtrument, conviendront ſans peine que l'obſervateur le plus attentif peut fort bien commettre de pareilles fautes, non-ſeulement à cauſe de quelque défaut de mobilité qui peut empêcher le mercure de ſe remettre dans un parfait équilibre avec l'atmoſphere après ſes balancemens, mais encore à cauſe de la convexité de ſa ſurface & des petites réfractions occaſionnées par l'épaiſſeur du verre, & qui peuvent tromper l'œil.

Puiſque l'atmoſphere eſt un fluide compreſſible, on ne peut pas ſuppoſer que ſa denſité ſoit uniforme ; on doit penſer au contraire, que les couches ſupérieures, peſant ſur celles qui ſont au-deſſous, reſſerrent & condenſent de plus en plus leurs parties ; & conſéquemment à ce principe, les différentes ſtations où l'on obſerve en montant, une ligne d'abaiſſement dans le mercure du barométre, doivent ſe trouver toujours de plus en plus éloignées les unes des autres. C'eſt ce qu'on obſerve en effet ; mais juſqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toiſes au-deſſus du niveau de la mer, les différences ſont peu conſidérables, apparemment parce que la grande quantité de vapeurs groſſieres dont l'air eſt chargé dans cette baſſe région, & le grand poids qui le preſſe, rendent ſa denſité preſque uniforme. Mrs. Caſſini & Maraldi, après un grand nombre d'expériences faites ſur diverſes montagnes dont ils avoient meſuré géométriquement les hauteurs, jugerent que les portions retranchées d'une colonne de l'atmoſphere pour pluſieurs

XI. LEÇON.

lignes d'abaiſſement du mercure au barométre, croiſſent ſuivant cette progreſſion, ſavoir, que ſi la premiere ligne de mercure répond à 61 pied d'air, il y en a pour la ſeconde 62, pour la troiſiéme 63, & ainſi de ſuite. Mais ils ont penſé avec raiſon, que cette proportion ne continue point au-delà d'une demi-lieue au-deſſus du niveau de la mer; car alors, l'air étant plus pur, ſon reſſort eſt plus libre, & ſes différens degrés de denſité ne dépendent preſque plus que de la preſſion des couches ſupérieures & du degré de froid qui y regne.

Applications.

Si l'on a peſé la colonne de mercure d'un barométre dont le tuyau ſoit parfaitement cylindrique; on ſait auſſi-tôt quel eſt le poids de la colonne totale de l'atmoſphere qui la tient en équilibre; & l'air du cercle qui fait ſa baſe eſt un eſpace connu qu'on peut multiplier autant de fois qu'on voudra, pour ſavoir quelle eſt la preſſion de l'atmoſphere, ſur un eſpace donné à la ſurface de la terre:

un exemple rendra ceci plus intelligible.

Suppoſons que le tube du barométre ait deux lignes de diamétre intérieurement, & que le mercure qu'il contient peſe une livre; cela m'apprend que dans le même lieu où eſt le barométre, tout eſpace circulaire qui a deux lignes de diamétre, comme l'ouverture du tuyau, ſe trouve chargé d'une colonne d'air qui peſe une livre; & cette preſſion ſe fait contre une porte de même que ſur une table; parce que c'eſt ici le poids d'un fluide, qui agit dans toutes ſortes de directions, comme nous l'avons enſeigné en traitant de l'hydroſtatique.

Suppoſons maintenant qu'on voulût ſavoir combien peſe l'atmoſphere ſur une eſpace circulaire d'un diamétre trois fois plus grand que le précédent; ce dernier eſpace eſt 9 fois plus étendu que le premier : car les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres, & le quarré de 3 eſt 9. Je dirai donc : Puiſqu'une colonne de l'atmoſphere, dont la baſe a deux lignes de diamétre, peſe

XI. LEÇON.

une livre ; une autre colonne qui s'appuie sur un espace 9 fois plus grand pese 9 livres : & l'on pourra savoir ainsi quelle est la pression de l'atmosphere, sur tout espace dont on connoîtra l'étendue.

Quelques curieux, fondés sur ce principe, se sont proposé de chercher quel est le poids de toute l'atmosphere ; mais ce qu'ils ont pû savoir à cette égard, tient à des hypotheses dont les unes visiblemeut fausses, les autres très-incertaines, ont rendu leurs laborieux calculs presqu'inutiles. Et en effet quelle connoissance peut-on tirer d'un pareil travail, si l'on ignore quelle est au juste l'étendue de la surface de la terre ; si l'on néglige de tenir compte de la hauteur de ses inégalités ; si l'on considere l'atmosphere, comme un fluide d'une densité uniforme dans ses parties semblables ; si l'on n'a point égard aux effets de la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, &c ? On voit assez combien il seroit difficile de saisir avec justesse tous ces élémens ; mais cette question n'étant heureusement

ſement que de pure curioſité, la ſolution qu'on pourroit ſe flatter d'en avoir, ne mérite pas la peine qu'elle exige.

XI. LEÇON.

On fera du barométre une application plus heureuſe & plus utile, ſi l'on s'en ſert pour meſurer la hauteur des montagnes; car ſuivant les expériences qui furent faites par MM. Caſſini, Maraldi, & Chaſelles en Auvergne, en Languedoc, & en Rouſſillon *, il paroît que depuis le niveau de la mer juſqu'à une demi-lieue de hauteur, ou peut compter environ 10 toiſes d'élévation pour chaque ligne d'abaiſſement du mercure, en ajoutant un pied à la premiere dixaine, 2 pieds à la ſeconde, 3 pieds à la troiſieme, & ainſi de ſuite.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1703. p. 229. & ſ.*

On voit bien que pour mettre ce moyen en uſage, il faut ſavoir à quelle hauteur ſe tient actuellement le mercure au bord de la mer pendant que l'on opere; & c'eſt ce que l'on peut ſavoir facilement par un barométre de comparaiſon qu'on y laiſſe avec un Obſervateur attentif. Il n'eſt pas même beſoin que ce barométre & cet Obſervateur ſoient au

XI. LEÇON.

bord de la mer ; il ſuffit que l'obſervation ſe faſſe dans un lieu dont on connoiſſe l'élévation au-deſſus du niveau de la mer ; & c'eſt ce qu'il n'eſt point rare de trouver maintenant dans preſque tous les Etats. La ſalle de l'Obſervatoire Royal de Paris, par exemple, où l'on fait perpétuellement les obſervations du barométre, & dont on tient un état tous les ans, eſt de 45 toiſes au-deſſus de la Méditerranée, & de 46 au-deſſus du niveau de l'Océan ; & le mercure s'y tient toujours pour cette raiſon, environ 4 lignes plus bas qu'on ne l'obſerve au bord de ces deux mers.

Je ſuppoſe donc que l'on ait porté un barométre au ſommet d'une montagne dont la hauteur ſoit inconnue ; ſi l'on trouve le mercure 10 lignes au-deſſous du terme où il ſeroit ſur le bord de la mer, en comptant d'abord dix toiſes pour chaque ligne de mercure, on aura 100 toiſes, auxquelles ajoutant un pied pour la premiere dixaine, 2 pieds pour la ſeconde, 3 pieds pour la troiſieme, & ainſi de ſuite juſqu'à la dixiéme incluſivement, on aura encore 55 pieds

qui font neuf toises & un pied ; ainsi l'on conclura 109 toises & un pied, pour la hauteur de la montagne au-dessus du niveau de la mer.

XI. LEÇON.

Il est vrai que cette méthode ne donne point des mesures précises, & qu'en l'employant on ne peut gueres compter que sur des à-peu-près : 1ment, parce que les expériences sur lesquelles elle est fondée, ayant varié dans leurs résultats, ne déterminent pas avec précision la hauteur qui répond à une ligne de mercure ; en second lieu, parce qu'il est très-difficile de juger avec tout l'exactitude qui seroit nécessaire, de combien le barométre a baissé lorsqu'il est parvenu au plus haut de la montagne ; & enfin, parce que pendant l'opération, il peut arriver quelque changement dans les parties de l'atmosphere qui couvre le lieu où l'on opere. Mais combien y a t-il d'occasions où les mesures géométriques ne peuvent être employées, & où l'on peut se contenter de connoître ces hauteurs à 10 ou 12 toises près ?

Une des vûes que l'on pourroit avoir encore en faisant usage du ba-

XI. LEÇON.

rométre, ce ſeroit de connoître l'étendue de l'atmoſphere, en déterminant la hauteur de cette colonne d'air qui ſoutient celle du mercure, & dont nous avons appris ci-deſſus à meſurer le poids; il ſemble qu'on en pourroit aiſément venir à bout, ſi l'air de l'atmoſphere, comme de l'eau ou comme tout autre liqueur, étoit par-tout d'une denſité uniforme; car en ſuppoſant qu'une ligne de mercure répondît toujours à 10 toiſes de cette colonne, elle devroit avoir autant de fois 10 toiſes que l'on compte de lignes dans 28 pouces, hauteur moyenne du barométre au niveau de la mer. Or il y a 336 lignes dans 28 pouces, ce qui donneroit 3360 toiſes pour la hauteur totale de l'atmoſphere: mais le fluide dont il s'agit eſt une matiere compreſſible; & par cette raiſon, les parties ſemblables de cette colonne étant priſes les unes au-deſſus des autres, ne doivent pas peſer également, ou (ce qui eſt la même choſe,) toutes ces portions, pour être de même poids, doivent avoir des longueurs différentes; les plus baſſes ſeront plus courtes que celles qui ſont au-deſſus.

Cette difficulté cependant n'empêcheroit pas qu'on ne vînt à bout d'évaluer par cette méthode la hauteur de l'atmosphere, si l'on savoit au juste dans quelle progression l'air se raréfie, à mesure que sa masse diminue, & qu'il se trouve moins chargé par son propre poids : si l'on étoit certain, par exemple, que sa densité augmentât & diminuât comme les poids qui le compriment, & que cette regle établie par M. Mariotte pût être suivie à toutes sortes de hauteurs. Mais bien loin de pouvoir compter sur cette supposition, on sait, par un nombre suffisant d'observations & d'expériences, que l'air ne se raréfie & ne se comprime ainsi que dans une densité moyenne, & que dans les cas extrêmes il suit une autre progression que l'on ne connoît point assez, & qui, telle qu'elle puisse être, doit varier suivant certaines circonstances. Plus ou moins de chaleur ou de pureté dans une région où nos observations ne peuvent s'étendre, suffit pour causer des changemens assez considérables à la pesanteur de l'atmosphere, & à sa hauteur : on ne

XI. LEÇON.

peut, ſans incertitude, juger de l'une par l'autre, (je veux dire, de la hauteur par le poids,) quand on ignore quel eſt l'état actuel de l'air dans toute ſon étendue.

Un corps à reſſort que l'on a comprimé fortement avec un certain nombre de poids égaux, lorſqu'on vient à le décharger peu-à-peu, ſe déploye par des quantités qui vont toujours en augmentant, & qui ſuivent d'abord une progreſſion aſſez réguliere; mais ſur la fin, lorſqu'on ôte les derniers poids, le dévelopement ou l'extenſion du reſſort ſe fait dans des rapports beaucoup plus conſidérables. Comme l'air eſt un fluide élaſtique, on doit préſumer que dans les hautes régions, où il eſt bien moins chargé par ſon propre poids, que par-tout ailleurs où nous pouvons faire des épreuves, il s'étend auſſi beaucoup davantage, ce qui doit donner à l'atmoſphere une hauteur plus grande qu'elle n'auroit, ſi nous en devions juger par les quantités qui répondent ici bas à une ligne d'abaiſſement du mercure dans le barométre.

D'ailleurs on doit faire attention,

qu'à une plus grande diſtance du centre de la terre, la peſanteur diminue, & la force centrifuge augmente : ces deux cauſes concourent encore à diminuer le poids de l'air, & à faciliter ſa raréfaction dans la partie la plus élevée de l'atmoſphere.

XI. Leçon.

De ces différentes conſidérations, & des expériences faites avec le barométre il ſuit, que notre atmoſphere ne peut pas avoir moins que 6 lieues d'étendue en hauteur ; il ſuit auſſi, (& c'eſt l'opinion commune) que cette même hauteur peut être de 15 ou 20 lieues : quelles différences ! & combien nous ſommes encore peu inſtruits ſur cette queſtion !

M. de la Hire touché de cette incertitude, & déſirant une ſolution moins vague, ſe propoſa de connoître la hauteur de l'atmoſphere, en faiſant uſage d'une méthode indiquée par Kepler, mais qu'il perfectionna & ſçut employer plus heureuſement que cet Aſtronome, Ce qu'on appelle *crépuſcule*, cette lumiere qui commence le jour avant que le ſoleil ſoit levé, & qui le fait durer encore quelque temps après que cet aſtre eſt couché,

XI. LEÇON.

est un effet de la réflexion causée par l'atmosphere aux rayons qui, sans cela, passeroient au-dessus de cette partie de la terre que nous habitons, & ne l'éclaireroient point : cette lumiere réfléchie qu'on apperçoit sensiblement dans le climat de Paris, lorsque le soleil n'est pas plus bas que 18 degrés au-dessous de l'horizon, commenceroit plus tard le matin, & finiroit plutôt le soir, si l'atmosphere avoit moins d'étendue, parce qu'alors les rayons de lumiere pourroient partir d'un point plus élevé vers l'horizon, sans rencontrer cette masse fluide qui les renvoye vers la terre. Il y a donc un rapport nécessaire entre la durée des crépuscules & la hauteur de l'atmosphere ; & comme la premiere de ces deux choses est connue ou facile à connoître, dans toutes les positions de la sphere, on voit qu'elle peut généralement conduire à découvrir l'autre. En effet M. de la Hire & M. Halley, en maniant cette méthode avec uue adresse & des précautions dont il faut lire le détail dans leurs propres ouvrages *, ont conclu avec assez de vraisemblance

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1713, p. 54.

vraiſemblable la hauteur de l'atmoſphere de 15 ou 16 lieues; je dis avec aſſez de vraiſemblance, & non avec certitude, parce que leur doctrine tient encore à quelques hypotheſes, qui pourroient bien n'être pas préciſément d'accord avec la nature. XI. LEÇON.

Si l'on connoiſſoit bien la hauteur de l'atmoſphere pour chaque climat, on ſauroit quelle eſt la figure de toute ſa maſſe; car une ſuite de colonnes, qui depuis l'équateur juſqu'aux pôles, ſeroient rangées dans un même plan, formeroient, par leurs extrêmités, une courbe d'où réſulteroit la ſolution du problême. Mais comme il reſte des doutes ſur la premiere de ces deux queſtions, la ſeconde demeure encore indéciſe, au moins pour ceux qui ne veulent ſe rendre qu'à des raiſons tout-à-fait évidendentes.

Sur les obſervations de M. Richer à la Cayenne, & ſur celles qui furent faites à-peu-près dans les mêmes temps avec le barométre en différens climats, on conjectura que la hauteur de l'atmoſphere augmentoit de plus en plus, depuis l'équateur juſqu'aux

XI. LEÇON.

pôles, parce que le mercure se tient plus haut dans les pays septentrionaux que sous la ligne équinoxiale & aux environs. Suivant cette conjecture l'atmosphere formeroit donc, avec la terre qu'elle enveloppe, un sphéroïde allongé vers les pôles, & son épaisseur seroit moindre à l'équateur que par-tout ailleurs.

Mais sans donner atteinte aux observations du barométre, qui ne se sont point démenties depuis, & qui ont été même réïterées en dernier lieu avec toute l'exactitude possible, ne pourroit-on pas conjecturer tout autrement qu'on n'a fait touchant la figure extérieure de l'atmosphere ? en jugeant de ses hauteurs, par ses différens degrés de pression, a-t-on pû négliger d'avoir égard à la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, & qui est commun sans doute à l'air qui l'environne ? Une pareille considération a fait conclure que les parties de notre globe, pour être en équilibre entr'elles, avoient dû s'arranger sous la forme d'un sphéroïde plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, comme nous l'avons ex-

pliqué ailleurs *. Ne peut-on pas dire la même chose, & avec plus de raison encore, d'un fluide plus disposé par sa nature à se prêter aux loix de la statique, & à celles des forces centrales ? Il y a donc beaucoup d'apparence que l'air est plus haut entre les deux tropiques qu'il ne l'est par-tout ailleurs, parce que cette partie de l'atmosphere tourne avec plus de vîtesse, & que la force centrifuge y agit plus fortement & plus directement contre la pesanteur.

* *Tome II. page* 151.

On peut ajouter aussi, que sous la Zone torride, où il regne une chaleur plus grande & plus continuelle, au moins vers la surface de la terre, l'air doit y être plus raréfié, & que les colonnes par conséquent doivent augmenter en longueur, pour être en équilibre avec celles d'un autre climat. Si le mercure du barométre s'y tient plus bas que dans le nord, on ne peut point douter que l'air n'y soit moins pesant ; mais cette moindre pesanteur vient-elle de ce que les colonnes sont moins hautes, ou bien doit-on s'en prendre aux causes que je viens d'exposer ? Le dernier parti

me paroît le plus vraiſemblable.

II. EXPERIENCE.

PREPAPATION.

IL faut mêler de la glace pilée ou de la neige avec du ſel dans un vaſe de verre ou de métal fort mince, qui ſoit bien eſſuyé en dehors, & que l'on tient environ un quart-d'heure dans un lieu frais.

EFFETS.

Tous les dehors du vaiſſeau ſe couvrent peu-à-peu d'une eſpece de frimas ou de gelée blanche aſſez ſemblable à celle qu'on voit le matin ſur les toîts & à la ſurface de la terre; vers la fin de l'automne ou au bord de l'hyver.

EXPLICATIONS.

Le mêlange de glace & de ſel refroidit conſidérablement les parois du vaſe qui le contiennent : ce refroidiſſement condenſe auſſi-tôt l'air extérieur le plus prochain & les particules d'eau dont cet air eſt chargé, étant condenſées auſſi par la même

cauſe, s'appliquent & ſe gélent contre le vaſe; à la premiere couche il s'en joint une autre, à celle-ci une troiſieme, &c. ce qui fait que cette congélation extérieure s'épaiſſit plus ou moins, ſelon la durée & l'intenſité du froid artificiel qui la cauſe.

Si l'on étoit tenté de croire que cet effet n'eſt qu'une tranſpiration de ce qui eſt dans le vaſe, on ſeroit bientôt déſabuſé de cette erreur en goûtant la glace extérieure; car on la trouveroit inſipide & bien différente de ce qu'elle devroit être, ſi elle ſe formoit d'eau ſalée.

Pour diſſiper entiérement ce préjugé, avant que de refroidir mon vaſe avec le mêlange de ſel & de glace, je le place dans un autre vaſe de verre, & j'empêche que l'air extérieur ne puiſſe entrer dans le peu d'intervalle qui ſe trouve entre lui & l'autre; & alors quel que ſoit le refroidiſſement, je n'apperçois aucune congélation autour du vaſe enfermé: celle qu'on y voit lorſqu'il ne l'eſt pas, ne peut donc être attribuée qu'à l'humidité de l'air extérieur.

XI. LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 1. repréſente un ballon de verre bien tranſparent, de 9 à 10 pouces de diamétre, qui n'a jamais été rempli d'aucune liqueur & qui eſt joint avec le plus grand récipient de la machine pneumatique par un canal garni d'un robinet, de ſorte qu'on peut ouvrir & fermer la communication entre les deux vaiſſeaux : la clef du robinet eſt percée de façon que, quand le récipient & le ballon ne communiquent point enſemble, celui-ci communique avec l'air extérieur : le canal étant donc fermé, on épuiſe l'air du récipient, & l'on ouvre enſuite la communication entre le ballon & lui.

EFFETS.

Si le ballon eſt placé entre la lumiere & l'œil du ſpectateur, on y apperçoit une vapeur légere qui tournoye, & qui ſe précipite vers le bas du vaiſſeau ; s'il rentre de nouvel air dans le ballon, & qu'on ouvre de

nouveau la communication, on voit aussi-tôt renaître la vapeur; & cet effet arrive autant de fois qu'on ouvre le robinet, pourvû que l'air soit encore suffisamment raréfié dans le récipient.

EXPLICATIONS.

Toutes les fois qu'on ouvre une communication entre deux capacités, dont l'une est vuide d'air, l'autre en étant pleine, ce fluide s'étend & se partage à toutes les deux, suivant le rapport qu'elles ont entr'elles, comme on l'a dit en parlant des fonctions de la machine pneumatique; c'est pourquoi, dans le ballon de l'expérience précédente, l'air se raréfie considérablement, dès que le vaisseau vient à communiquer avec le récipient que l'on a évacué. Mais comme les petits corps étrangers dont cette masse d'air est chargée ne sont pas de nature à s'étendre comme elle, ils demeurent isolés, ils sont abandonnés à leur propre poids, & au mouvement de l'air qui se porte de toutes parts vers le canal de communication, ce qui les fait tournoyer

XI. LEÇON.

en tombant en forme de vapeur.

Le même effet s'apperçoit toujours plus ou moins à tout récipient où l'on commence à faire le vuide ; & j'aurois pû me contenter de rappeller ce fait si familier à ceux qui font usage de la machine pneumatique, pour prouver que l'air est toujours mêlé de matieres étrangeres ; mais on auroit pû m'objecter que cette vapeur qui fait ici le fond de ma preuve, n'est dûe qu'à l'humidité du cuir mouillé qui couvre la platine, & sur lequel on applique le vaisseau : je dissipe ce soupçon quand je la fais voir dans un ballon bien net, & dans lequel il n'entre autre chose que l'air qui vient immédiatement de l'atmosphere : quiconque ne voudra pas se rendre à cette raison, en trouvera beaucoup d'autres encore dans un écrit * où j'ai traité exprès de cette matiere.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1740. *page* 243.

On pourroit demander pourquoi les corpuscules qui forment la vapeur dont il s'agit, n'étant point visibles dans l'air de l'atmosphere, le deviennent aussi-tôt que ce fluide vient à se raréfier.

Il y a toute apparence que ces pe-

tits corps, dès qu'ils cessent d'être soutenus, retombent les uns sur les autres, & s'unissent pour former des masses plus grossieres, & par conséquent plus propres à être apperçues. XI. LEÇON.

D'ailleurs c'est un fait que nous examinerons en traitant de l'optique, que la transparence des corps diminue, à mesure que leurs parties deviennent plus denses les unes que les autres : or quand cette masse fluide qui remplit le ballon vient à se raréfier, il n'y a que la densité de l'air proprement dit, qui diminue ; celle des autres matieres qui s'y trouvent mêlées, augmente au contraire, & ce double effet occasionne sans doute cette petite opacité qu'on apperçoit, & qui ne manque pas de disparoître aussi-tôt qu'une raréfaction suffisante a donné lieu à l'air de se purifier, en se désaisissant entiérement de ce qu'il avoit d'étranger.

APPLICATIONS.

ON distingue communément en deux classes toutes les matieres qui s'élévent de la surface de la terre dans l'atmosphere ; l'une comprend sous

XI. LEÇON.

le nom de *Vapeurs* tout ce qui tient de la nature de l'eau; dans l'autre on range toutes les parties salines, sulfureuses, grasses & spiritueuses, & c'est ce qu'on appelle *Exhalaisons*.

Toutes ces substances, tant celles qui s'exhalent, que celles qui s'évaporent, étant différemment mêlangées ou modifiées, prennent des formes & produisent des effets qui varient beaucoup, & que l'on connoît sous le nom de *Météores*. On en peut distinguer de trois sortes; savoir, ceux qui sont produits par les vapeurs seules & que l'on appelle météores *aqueux*, comme le brouillard, les nuages, la pluie, la grêle, le frimas, &c. ceux que font naître des exhalaisons qui s'allument, & que l'on nomme météores *enflammés*; tels sont le tonnerre, les éclairs, les feux folets, &c. & ceux qui résultent des vapeurs & des exhalaisons combinées avec la lumiere, & qu'on peut appeller météores *lumineux*, comme l'arc-en-ciel, les parhélies &c.

Pour ne point faire une trop longue digression, je me contenterai de par-

courir ici les météores de la premiere espece; & je remettrai à parler des autres dans les Leçons où je traiterai du feu & de la lumiere.

XI. LEÇON.

Pendant le jour, les rayons du soleil échauffent en même temps & la terre & l'air qui l'environne. Lorsque cet astre est couché, la chaleur qu'il a fait naître se rallentit peu-à-peu; mais elle se conserve plus long-temps dans les corps qui ont plus de matiere, de sorte que pendant la nuit, la terre & les eaux sont communément plus chaudes que l'air de l'atmosphere. Alors la matiere du feu, qui tend à se répandre toujours uniformément à la maniere des autres fluides, passe de la terre dans l'air, & emporte avec elle les parties les plus subtiles des corps terrestres, qu'elle détache & qu'elle anime par son mouvement. Cette cause particuliere se joignant à celles dont nous avons fait mention* en parlant de l'élévation des vapeurs en général, fait que la partie de l'atmosphere la plus voisine de la terre reçoit une plus grande quantité de ces parties évaporées : de-là vient cette humidité qu'on apperçoit sensible-

* *Tome I p. 110. & suiv.*

XI. LEÇON.

ment sur les habits, lorsqu'on se promene à la campagne pendant les soirées fraîches du printemps & de l'automne, & que l'on nomme *le serein*. Ces sortes de vapeurs s'attachent plus promptement & en plus grande quantité aux taffetas & aux toiles fines qu'aux grosses étoffes, parce que celles-ci prenant plus lentement que les autres la température de l'air qui se refroidit, le feu qui continue de s'en exhaler emporte avec lui les particules d'eau qui se présentent à leur surface.

Le serein dure toute la nuit, dans les saisons & dans les climats où la terre s'échauffe suffisamment pendant le jour. Au soleil levant, la chaleur commence à renaître dans l'atmosphere, & l'air, en se dilatant, se désaisit pour l'ordinaire de ces vapeurs, trop subtiles peut-être pour remplir ses pores, ou bien elles suivent la matiere du feu à laquelle elles sont encore unies, & qui retourne alors vers la terre. Les vapeurs qui retombent ainsi, s'appellent *rosées*; elles sont plus abondantes aux champs qu'à la ville, & dans les campagnes couver-

tes d'arbres & de plantes que dans les lieux arides; car il en tombe à proportion de ce qu'il s'en eſt élevé.

Il ne faut pas confondre cependant cette roſée qui tombe de l'air, avec celle qu'on remarque le matin ſur les plantes. Ces gouttes qu'on voit à leurs tiges & ſur leurs feuilles, ſont des effets de la tranſpiration; & l'on peut aiſément s'en convaincre, ſi l'on couvre un choux ou un pied de laitue pendant la nuit; car on y verra le matin la même roſée qu'on a coutume d'y voir lorſque ces plantes demeurent découvertes. Les particules d'eau qui forment ces gouttes viennent de la terre comme les autres, & ſont élevées par la même cauſe; mais au lieu d'en ſortir immédiatement comme par-tout ailleurs, elles enfilent des tiges, des branches, des feuilles, leur mouvement ſe rallentit, & elles demeurent pluſieurs enſemble à l'orifice des petits canaux par leſquels elles tranſpirent.

Les Empiriques & les Alchimiſtes ont attribué de grandes vertus à la roſée; mais il paroît que toutes les merveilles qu'ils en ont annoncées,

XI. LEÇON.

n'ont pas plus de réalité qu'une infinité de chimeres dont ils ont coutume de repaître leur imagination, & la crédulité des ignorans.

Plusieurs Auteurs ont dit avec plus de fondement & de vraisemblance, que la rosée peut nuire aux animaux que l'on méne paître trop matin, & qu'elle peut diminuer la fécondité des terres lorsqu'elle est trop abondante : car quoique cette vapeur ne soit pour la plus grande partie que de l'eau, on ne peut nier qu'elle n'emporte avec elle d'autres substances qui varient, soit pour la quantité, soit pour la qualité, selon les lieux, selon les degrés de chaleur, & selon les plantes d'où elle transpire. Ce qui prouve bien que la rosée n'est pas de l'eau pure, c'est qu'elle se corrompt, & qu'elle dépose lorsqu'on la garde dans des bouteilles. On peut attribuer aussi à la rosée, ou au serein qui tombe, ces couches légeres de matieres grasses & sulfureuses qui se font remarquer par leurs couleurs d'Iris à la surface des eaux dormantes après plusieurs jours d'un temps serein, pendant lequel on ne voit tomber du ciel rien

autre chose qui puisse causer cet effet.

Il y a même des cas où la partie aqueuse de la rosée n'est pas la plus abondante : alors ce qui exsude de la plante ou de l'arbre, est un suc qui s'épaissit à mesure que l'humidité s'évapore ; telles sont certaines gommes & quelques especes de mannes dont la médecine fait usage,

Or puisque la rosée est une vapeur qui contient un extrait des matieres minérales ou végétales d'où elle sort, il n'est point douteux qu'elle ne puisse avoir des qualités bonnes ou mauvaises, selon la nature des principes dont elle est chargée. Mais comme en différens lieux il naît différentes plantes, que la nature y varie de même ses autres productions, & que la chaleur qui anime les exhalaisons n'est ni toujours ni par-tout également forte, on doit présumer que la rosée & le serein changent de qualités suivant les temps & les lieux, & que les effets dont l'une ou l'autre seroit capable en telle saison ou en tel climat, n'auroit pas lieu ailleurs, ou dans un autre temps. A Rome, & dans ses environs, par exemple, il

XI. LEÇON.

eſt dangereux, dit-on, de prendre l'air le ſoir; à Paris, on le peut faire impunément : c'eſt qu'ici le ſerein n'eſt preſque autre choſe qu'un peu d'humidité, au lieu qu'en Italie cette vapeur eſt chargée apparemment d'exhalaiſons nuiſibles, qui tiennent de la nature du terrein, & dont la quantité répond au grand chaud du climat; ainſi l'on ne peut gueres prononcer en général ſur cette matiere.

Vers la fin de l'automne, quand les nuits commencent à être longues, la terre a plus de temps pour ſe refroidir, & très-ſouvent ſa ſurface & les corps qui y ſont iſolés ſont aſſez froids, pour glacer les particules d'eau dont la roſée tombante a coutume de les couvrir; alors au lieu d'humidité on apperçoit ſur le gazon, ſur les toîts des bâtimens, &c. une couche de petits glaçons fort menus que l'on nomme *Gelée blanche*, à cauſe de ſa couleur, & qui ne manque pas de ſe fondre & de ſe diſſiper dès que le ſoleil commence à faire ſentir ſa chaleur.

La roſée, ou la gelée blanche qui a été fondue, ſe diſſipe de deux manieres; elle rentre dans les terres arides

des & dans les corps poreux qui ont plus de diſpoſition à l'abſorber que l'air de l'atmoſphere ; mais le plus ſouvent elle s'éléve de nouveau, ſoit qu'une médiocre raréfaction mette l'atmoſphere en état de la pomper, ſoit qu'un vent fort doux y tranſporte un air plus ſec que celui ſous lequel elle étoit.

Aſſez ſouvent, quand la roſée remonte, elle diminue la tranſparence de l'atmoſphere, parce qu'alors les parties de cette vapeur ſont beaucoup plus groſſieres, & qu'elles s'élévent plus lentement. Ces deux cauſes qui naiſſent l'une de l'autre, doivent néceſſairement rendre l'air opaque ; 1°, parce qu'un corps tranſparent l'eſt d'autant moins que ſes parties différent davantage par leur denſité, comme nous le prouverons par la ſuite : 2°, parce que la vapeur qui monte lentement, s'étend moins & devient plus denſe.

Mais cette opacité que fait naître la roſée qui remonte, ne s'empare preſque jamais d'une grande portion de l'atmoſphere ; elle ſe cantonne, pour ainſi dire, & devient plus forte

XI. LEÇON.

dans les lieux bas & humides, & au-dessus des prairies, que par-tout ailleurs, parce que, comme nous l'avons déja dit, la rosée retombe à proportion de ce qu'il s'en éléve; & si le temps est calme, elle doit être plus abondante le matin, aux endroits qui en fournissent une plus grande quantité pendant la nuit. C'est par cette raison sans doute, qu'on ne voit gueres au-dessus des Villes & des lieux arides, l'atmosphere obscurcie par la rosée qui remonte, mais bien plus souvent au voisinage des rivieres, des étangs & des herbages.

Un préjugé généralement reçu & fondé sur les apparences, avoit établi, touchant la rosée & le serein, des idées bien fausses qui ont été dissipées dans ces derniers temps par MM. Gersten, Muschenbroek & Dufay. Le Lecteur qui ne voudra rien ignorer de ce que l'on sait sur cette matiere, doit parcourir leurs écrits, * où il trouvera un grand nombre d'expériences ingénieuses & d'observations aussi curieuses que nouvelles. De tous les faits qui y sont rapportés, celui qui surprend davantage, c'est

* *Christ. Lud. Gersten. tentam Francof.* 1733.
* *Essais de Phys.* p. 753.
* *Mém. de l'Académie des Sciences*, 1736. p. 352.

que le ſerein ou la roſée ſemble éviter certains corps, tandis qu'ils s'attachent facilement aux autres : le verre, la porcelaine, & quantité d'autres matieres ſe mouillent conſidérablement, tandis que des morceaux de métal poli, de quelqu'étendue qu'ils ſoient, expoſés au même lieu, demeurent conſtamment ſecs ; & cette eſpece de préférence eſt ſi marquée, qu'un écu placé au milieu d'un grand plat de fayance, ou de verre, ne reçoit pas la moindre humidité, quoique le reſte du vaiſſeau ſoit tout mouillé.

Une certaine diſpoſition de l'atmoſphere, & un concours de circonſtances qu'il ſeroit fort difficile de marquer avec préciſion, déterminent quelquefois une grande quantité de vapeurs groſſieres à s'élever à-peu-près comme la roſée qui remonte : alors ces vapeurs qui s'élévent à peine, s'étendent uniformément dans la partie baſſe de l'atmoſphere, & la rendent opaque, tout le temps qu'elles y demeurent ſuſpendues.

Toutes ces vapeurs flottantes & baſſes, tant celles qui viennent de la

XI. LEÇON.

rosée du matin, que celles qui naissent dans d'autre temps, & d'une maniere différente, se nomment *Brouillards*. Ce n'est ordinairement que de l'eau; mais quelquefois il s'y mêle des exhalaisons qui se manifestent par leur mauvaise odeur, par une certaine âcreté qui prend aux yeux, & par le dommage qu'elles causent aux fruits & aux grains. Il regne en certaines années des brouillards ausquels on attribue la *nielle* & la *rouille*, maladies assez communes au froment & au seigle: (*a*) quelques sçavans ont rejetté sur ces mêmes causes, ce qu'on remarque à certains épis dont le grain devient noir & s'allonge en forme de corne, & que les Laboureurs appellent *Ergot* ou *Bled cornu;* la farine en est pernicieuse; on lui attribue une maladie qui régne quelquefois dans les campagnes, & qui est con-

(*a*) Voyez ce qu'ont écrit sur ce sujet MM. Duhamel du Monceau, & Tillet; le premier dans son ouvrage intitulé: *Traité de la culture des terres*, tom. II. p. 158 *& suiv. Ibid.* tom. IV. page 175, 263 *& suiv.* Le dernier dans sa Dissertation sur la cause qui corrompt & noircit les grains de bleds dans les épis &c. imprimée à Bordeaux en 1755. *in*-4°. pag. 41. *& suiv.*

nue ſous le nom de *Feu Saint Antoine* ; on prétend auſſi qu'elle donne la gangrenne *.

XI. LEÇON.

* *Hiſt. de l'Ac. des Sc.* 1710. p. 61. *Jour. des Sc. Mars* 1676.

En hyver les brouillards ſont plus fréquens qu'en été, parce que le froid qui regne dans l'air, condenſe promptement les vapeurs, & ne leur donne pas le temps de s'élever beaucoup ; ſi le froid augmente, le brouillard ſe géle & s'attache aux branches des arbres, aux plantes ſeches, aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, & généralement à tout ce qui s'y trouve expoſé ; c'eſt ce qu'on appelle *Givre* ou *Frimas*.

Quand les brouillards ou les vapeurs qui ſont propres à les former, peuvent s'élever aſſez haut, il s'en fait des amas qui flottent au gré des vents dans l'atmoſphere ; ce ſont ces *nuées* que nous voyons ſuſpendues de côtés & d'autres au-deſſus de nous, & qui nous cachent de temps en temps le ſoleil & les autres aſtres par leur opacité ; leurs figures & leurs grandeurs varient à l'infini, ſelon la quantité des vapeurs qui les forment, & ſelon la maniere dont elles s'arrangent en s'uniſſant, ce qui dépend

XI. LEÇON. beaucoup de la direction & des différens degrés de vîtesse que les vents leur donnent.

Les nuées ne sont pas toutes également élevées, parce que, comme il faut qu'elles soient toujours en équilibre avec l'air dans lequel elles flottent, & que ce fluide est plus rare à une plus grande distance de la terre, les vapeurs les plus subtilisées peuvent se soutenir où les plus grossieres se trouveroient ttop pesantes ; c'est pourquoi ces nuages épais qui sont prêts à fondre en pluie sont ordinairement fort bas. Ceux qui voyagent sur les hautes montagnes, comme celles des Alpes ou des Pyrénées, passent souvent au travers des nuages qui dérobent la terre à leurs yeux, après leur avoir caché le ciel, les moins attentifs ne manquent point d'observer qu'à ces hauteurs la terre est toujours fort humectée par les nuages qui viennent s'y briser, ce qui contribue beaucoup à entretenir ces torrens & ces sources qu'on voit si fréquemment au pied & aux environs de ces mêmes montagnes. Ainsi dans le temps même qu'il ne pleut

point, les nuées ſont autant de voies d'eau que les vents diſtribuent en différentes contrées, & qui vont s'épuiſer contre les montagnes, d'où elles ſe répandent enſuite dans les plaines par les canaux ſouterreins que la nature y a pratiquées. Mais les nuées ne s'épuiſent pas toujours de cette maniere; le plus ſouvent elles s'épaiſſiſſent, ſoit par l'action des vents qui les pouſſent les unes contre les autres, ſoit par la condenſation de l'air qui les porte; & alors leurs parties réunies en gouttes deviennent trop peſantes, & font, en tombant, ce qu'on nomme *la Pluie*.

Lorſque cette condenſation ſe fait lentement, ou que les vapeurs tombent ſeulement parce que l'air qui les ſoutient ſe raréfie, comme il arrive quelquefois après un brouillard du matin, les gouttes demeurent très-petites; la pluie qu'elles forment eſt très-fine, & ſe nomme communément *Bruine*. Au contraire, quand les vapeurs ſe condenſent précipitamment, & dans une partie peu élevée de l'atmoſphere, où l'air a plus de denſité, les gouttes acquierent plus de groſ-

XI. Leçon.

ſeur, & elles demeurent plus écartées les unes des autres, comme on l'obſerve preſque toujours dans les pluies d'orage.

Les refroidiſſemens qui ſe font dans la région des nuages, non-ſeulement condenſent les vapeurs & les convertiſſent en pluies; il arrive ſouvent que le froid eſt aſſez conſidérable pour les geler : elles tombent alors ou en *neige* ou en *grêle ;* en neige ſi la congélation ſaiſit les vapeurs avant qu'elles ſe ſoient réunies en groſſes gouttes; car ces glaçons infiniment petits s'uniſſant mal entr'eux, ne peuvent compoſer que des flocons fort légers : en grêle, ſi les particules d'eau ont le temps de ſe joindre avant que d'être priſes par la gelée.

La grêle ne devroit jamais être naturellement plus groſſe que des gouttes de pluie; ſi l'on en voit quelquefois tomber qui égale en groſſeur une noix ou un œuf, c'eſt que pluſieurs grains s'uniſſent enſemble en tombant; ou bien lorſqu'ils ont reçu un degré de froid ſuffiſant, ils gélent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chûte; & ils deviennent

nent comme les noyaux de plusieurs couches de glace qui augmentent beaucoup leur volume & leur poids. C'est pour cela que la grosse grêle est toujours fort anguleuse, & que les grains qui sont arrondis ne sont jamais d'une densité uniforme, depuis la surface jusqu'au centre.

XI. LEÇON.

On a vû, quoiqu'assez rarement, tomber en forme de pluie ou de grêle, des matieres qui n'étoient point de l'eau. En 1695, il tomba en Irlande une pluie grasse & visqueuse qui demeura 14 ou 15 jours dans les endroits où elle s'étoit amassée, & qui devint noire en se séchant. Dans les mémoires de Breslaw *, il est fait mention d'une pluie de soufre qui mit l'allarme dans la ville de Brunswick. Les habitans de Copenhague, en 1649, ramasserent aussi du soufre dans les rues après une grosse pluie qui en avoit fortement l'odeur. Scheuchzer observa, en 1677, une poudre jaune qui tomba abondamment, & qu'on auroit volontiers prise pour du soufre; mais en l'examinant avec attention, il se détermina à croire que cette matiere venoit de la

* *Octobre* 1721.

XI. LEÇON.

fleur des jeunes pins, qui ſont fort communs dans les environs du lac de Zurich, où il fit cette obſervation. On a vû des pluies de ſable à une diſtance aſſez conſidérable de la mer; c'étoit ſans doute un effet du vent ou de la tempête, comme les pluies de cendres & de pierres, ſi l'on peut les nommer ainſi, ſont cauſées par les éruptions des volcans.

Au reſte, quand il arrive de ces ſortes de phénoménes, on doit, avant que de prononcer, les examiner avec beaucoup de circonſpection, & ne point céder précipitamment aux premieres apparences; car ordinairement l'attention d'un obſervateur intelligent diſſipe une fauſſe merveille, & dévoile une vérité obſcurcie par les circonſtances. Si l'on jugeoit, par exemple, ſans autre examen, que tout ce qu'on apperçoit de nouveau ſur la terre, après ou pendant la pluie, vient, comme les gouttes d'eau, de la nuée ou de l'atmoſphere, on croiroit, comme le vulgaire, qu'il pleut quelquefois des crapauds, du ſang, du grain, &c. Mais quand on ſait que tous les animaux, juſqu'aux reptiles &

aux insectes, ont une génération réglée, & qui se fait toujours par les mêmes voies dans chaque espece ; que le crapaud, à-peu-près comme la grenouille, vient d'un frai trop gros & trop pesant pour s'élever comme les vapeurs ; & que la femelle qui le fait, & le mâle qui la féconde, ne peuvent se soutenir en l'air ; on trouve qu'il est plus raisonnable de penser, que tous ces petits animaux nouvellement éclos, & cachés sous des herbes ou ailleurs, sont déterminés par la pluie à sortir de leurs retraites, que de croire qu'ils viennent de naître fortuitement, & qu'ils ont pû tomber contre la terre la plus dure & la plus battue, sans s'écraser.

Des taches rouges, dont les murailles & les couvertures des maisons se sont trouvées teintes en différens temps, ont fait croire au peuple ignorant & préoccupé par la crainte, qu'il avoit plu du sang ; les Historiens * même n'ont pas manqué de transmettre à la postérité ces phénoménes effrayans, & de les joindre à des événemens contemporains, jusqu'à ce qu'enfin quelques Sçavans *

* *Plutarque, Dion, Tite-Live, Pline, &c.*

* *Peiresc. Mer et.*

XI. Leçon.
plus attentifs remarquerent que la prétendue pluie de ſang avoit marqué des endroits couverts, comme le deſſous des entablemens des portes & des fenêtres, & qu'immédiatement après, l'air ſe trouvoit rempli d'une multitude innombrable d'inſectes d'une même eſpece.

La premiere de ces deux obſervations prouve d'abord & ſans réplique que les taches rouges n'étoient point les veſtiges d'une pluie qui fût tombée d'en-haut. La ſeconde fit connoître avec le temps quelle étoit leur véritable origine : voici comment on expliqua le fait après un peu de réflexion.

Quand un papillon ſort de ſa chryſalide, il dépoſe toujours deux ou trois gouttes d'une ſéroſité rouge qui reſſemble aſſez à du ſang; or il y a telle circonſtance de temps, où il en naît un nombre prodigieux; car cette eſpece d'inſectes, comme la plûpart des autres, eſt extrêmement féconde, & ſi tous les œufs venoient à bien, nous en ſerions fort incommodés : on ſe ſouvient encore du dommage que cauſa une ſeule eſpece

de chenille aux environs de Paris, pendant l'été de 1735 ; il ne reſta point de légumes dans les marais, & juſqu'au gramen, tout fut rongé dans les jardins & dans les champs. Lors donc qu'un pareil nombre de chenilles devenues chryſalides ſe changent en papillons, combien ne doit-on pas voir de taches rouges, quand c'eſt une eſpece qui s'attache aux murs & aux bâtimens ; car il y en a beaucoup qui ſe mettent en terre, ou qui ſe branchent aux tiges des plantes, & alors on n'apperçoit preſque point les traces de leur métamorphoſe.

Les pluies de grains n'ont pas plus de réalité que celles de ſang. Il eſt vrai qu'on a vû quelquefois après une groſſe pluie, la terre couverte d'une grande quantité de menus grains qui ont une ſorte de reſſemblance avec le froment : les payſans qui les ont ramaſſés, & qui ont eſſayé d'en faire du pain, n'ont pas manqué de croire qu'il étoit tombé du ciel ; & ſuivant la maniere de penſer du peuple, ils en ont tiré des conjectures ſur la diſette ou ſur l'abondance ; mais des

XI. LEÇON.

personnes plus éclairées, & moins susceptibles de préjugés, ont reconnu que ces grains étoient des petites bulbes, qui se forment en grande quantité aux racines d'une espece de renoncule qu'on nomme la *petite chelidoine*, & alors tout le merveilleux disparoît : car on sait que les racines de cette plante sont très-déliées, & à fleur de terre; ce sont de petits filets rampans, qui se desséchent, & qui disparoissent; & leurs bulbes qui ont plus de consistance, demeurent isolées, & ressemblent un peu à des grains répandus sur la terre.

Comme les nuées sont des amas de vapeurs, il s'en fait plus que par-tout ailleurs au-dessus des mers & des grands lacs, où l'évaporation est plus abondante. C'est pourquoi, toutes choses égales d'ailleurs, les pluies sont plus fréquentes dans le voisinage des côtes, que dans le milieu des continens ou des grandes isles. En Hollande, par exemple, il y pleut communément davantage qu'aux environs de Paris; & quand le vent est au Sud ou à l'Ouest, nous avons ordinairement un temps pluvieux à cau-

ſe de la Méditerranée & de l'Océan, dont nous ne ſommes point fort éloignés.

XI. LEÇON.

On meſure continuellement à l'Obſervatoire Royal, la quantité de pluie qui tombe pendant le cours de l'année, comme on fait depuis longtemps en Angleterre, en Italie, en Hollande, & dans pluſieurs villes d'Allemagne. Ces ſortes d'obſervations ſe font par le moyen d'un vaſe quarré ou cylindrique, gradué par dedans ſelon ſa hauteur, que l'on expoſe dans un lieu découvert, mais cependant à l'abri du vent. Chaque fois qu'il pleut, on marque ſur un journal de combien de lignes l'eau s'eſt élevée dans le vaiſſeau ; & au bout de l'année, en additionnant toutes ces quantités, on voit quelle eſt la ſomme totale de la pluie qui a tombé pendant les douze mois. En procédant ainſi, on a appris que dans les années moyennes il tombe à Paris environ 19 pouces d'eau ; à Londres 37 pouces ½ meſure d'Angleterre, ce qui fait environ 35 pouces de France ; à Rome 20 pouces ; à Zurich en Suiſſe 32 pouces ; à Utrecht 24 pouces *.

* *Environ 23 pouces meſure de France.*

XI. LEÇON.

La pluie purifie l'atmoſphere, en précipitant avec elle toutes les exhalaiſons qui s'y amaſſent pendant la ſéchereſſe, & dont la trop grande quantité corromproit l'air, & causeroit des maladies épidémiques. On s'apperçoit ſenſiblement de cet effet, non ſeulement parce qu'on reſpire plus à ſon aiſe, mais encore parce que l'air devient plus tranſparent; les objets s'apperçoivent plus diſtinctement & de plus loin, & jamais les lunettes à longue vûe ne font auſſi-bien qu'après une groſſe pluie, & par un temps calme.

Un autre effet de la pluie, & qui nous eſt encore très-avantageux, c'eſt de rafraîchir l'air, & de modérer la chaleur, qui nous incommode ſouvent dans certaines ſaiſons. On en reconnoît bientôt la cauſe quand on ſait que la région des nuages eſt preſque toujours beaucoup plus froide, que cette partie de l'atmoſphere où nous ſommes. C'eſt un fait que ne peuvent ignorer ceux qui ont vû la cime des montagnes couverte de neige, lorſqu'il fait encore aſſez chaud dans les lieux bas. Ainſi, quand il

pleut en été, c'eſt de l'eau froide qui ſe filtre au travers d'un air plus chaud qu'elle; celui-ci perd néceſſairement une partie de ſa chaleur.

Mais de tous les bons effets de la pluie, il n'en eſt pas dont nous ayons plus de beſoin, & qui tourne plus directement à notre avantage que la part qu'elle a à la fertilité de la terre: quand elle manque trop long-temps, & que rien n'y ſupplée, tout devient aride dans les champs, & leur culture demeure ſans ſuccès; mais lorſqu'elle les arroſe modérément, elle amollit la terre, elle entretient la ſoupleſſe des plantes, elle développe les germes, elle réunit les principes de la ſeve, & lui ſert de véhicule pour l'introduire dans les racines, & pour la diſtribuer à la tige & aux branches.

Comme les vapeurs qui doivent retomber en pluie, élévent avec elles ou rencontrent dans l'atmoſphere, les parties les plus ſubtiles de toutes ces ſubſtances que la nature fait entrer dans la compoſition des mixtes, les ſels, les ſoufres, les huiles, &c. les nuages agités par les vents, tranſportent tous ces principes d'un lieu dans

un autre, & les diſtribuent de maniere qu'ils ne tariſſent jamais. C'eſt donc pour leur donner le temps de ſe raſſembler, qu'on laiſſe repoſer les terres épuiſées, ou qu'on y varie les ſemences : car une plante peut ſouvent ſe paſſer, de ce qu'une autre tire de la terre.

Les pluies peuvent avoir auſſi de mauvais effets, comme elles en ont de bons : lorſqu'elles ſont froides ou trop fréquentes, lorſqu'elles tombent hors de ſaiſon, elles retardent les progrès de la végétation, & la maturité des fruits ; elles pourriſſent les moiſſons & font germer le grain ſur les champs ; elles font périr le gibier ; elles gâtent les chemins ; elles rendent impratiquable la navigation des rivieres, par les débordemens & les inondations qu'elles cauſent ; & tous ces fâcheux effets incommodent le commerce & occaſionnent la diſette.

On voit aſſez ſouvent ſur mer, & beaucoup plus rarement ſur terre, un phénoméne ſurprenant & très-dangereux, qu'on appelle *Trombe :* c'eſt une nuée épaiſſe, qui s'allonge de haut en bas, en forme de colonne cylindrique

ou de cône renversé; elle jette autour d'elle beaucoup de pluie ou de grêle, & fait entendre un bruit semblable à celui d'une mer fortement agitée; elle renverse les arbres & les maisons par-tout où elle passe, & lorsqu'elle s'abat sur un vaisseau; elle ne manque gueres de le submerger. Les gens de mer qui connoissent ce danger, s'en éloignent le plus qu'ils peuvent; & quand ils ne peuvent éviter d'en approcher, ils tachent de la rompre à coups de canon, avant que d'être dessous pour prévenir l'inondation dont ils sont menacés. Peu d'observateurs ont eu le loisir d'examiner de près ces sortes d'accidens, & par cette raison, l'on n'est pas encore bien instruit de la maniere dont ils naissent. On croit *, avec assez de vraisemblance que la nuée déterminée à tourner par la double impulsion de deux vents contraires, & dont les directions sont paralleles, prend la forme d'un tourbillon d'eaux, qui s'allonge & s'élargit plus ou moins, suivant la vîtesse avec laquelle il tourne, & suivant l'étendue en hauteur des vents qui l'agitent.

* *Hist. de l'Acad. des Sc. 1717. p. 5.*

XI. LEÇON.

J'aurois encore bien des choses à dire touchant les météores aqueux ; mais je passerois les bornes que je me suis prescrites dans un ouvrage, où je me suis moins proposé de donner une histoire complette des effets naturels, que d'exposer les causes de ceux qui sont les plus connus & les plus intéressans : le lecteur qui désirera d'en savoir davantage pourra consulter les Auteurs * qui ont écrit sur cette matiere *ex professo*, & les Mém. des principales Académies, où l'on trouve un recueil d'Observations Météorologiques pour chaque année.

* *Stanhusius, Resta, Dechales, Gesten, Musch. &c.*

ARTICLE. II.

De l'Atmosphere considérée comme un Fluide en mouvement.

On observe principalement deux sortes de mouvemens dans l'air de l'atmosphere ; l'un est une espece de frémissement imprimé aux parties de ce fluide. & qui les agite quelques instans, sans les déplacer ; (*a*) l'au-

(*a*) On pourroit dire contre cette définition que le bruit du canon casse les vitres d'un appartement voisin, ce qui ne peut se faire sans

tre est un déplacement successif qui se fait d'un grand volume d'air, avec une vîtesse sensible & une direction déterminée. Le premier de ces deux mouvemens s'appelle *son*; le dernier est ce qu'on nomme le *vent*.

Du Son en général.

Le son naît communément du choc ou de la collision de deux corps, dont les parties ébranlées font frémir comme elles, & de toutes parts jusqu'à une certaine distance, le fluide qui les environne; & ce frémissement se communique aux autres corps qui en sont susceptibles, & qui se rencontrent dans cette sphere d'activité; de sorte que la même cloche que l'on fait sonner, peut se faire entendre à un nombre infini de personnes placées aux environs. On peut donc considé-

un déplacement sensible de la masse d'air qui les touche, & qui les enfonce; mais on verra aisément par tout ce qui sera exposé dans cet article que cette commotion violente de l'air peut bien quelquefois accompagner le son ou le bruit, mais qu'elle ne lui est point essentielle, & qu'elle ne se rencontre pas dans les cas les plus ordinaires.

XI. LEÇON.

rer le ſon, 1°, dans le corps ſonore ; 2°. dans le milieu qui le tranſmet, 3°. dans l'organe qui en reçoit l'impreſſion. On pourroit encore tenter de le ſuivre juſques dans l'ame qui en perçoit l'idée ; mais c'eſt une entrepriſe qui appartient à la Métaphyſique, & qui n'eſt point de mon reſſort : j'en uſerai pour l'ouie, comme j'ai fait pour les autres ſens ; je me contenterai de conduire l'objet juſqu'à la partie de l'organe, où s'accomplit la ſenſation, & je me diſpenſerai d'examiner comment naiſſent les idées, à l'occaſion de l'objet ſenſible.

Des Corps Sonores.

On appelle *Corps Sonores* proprement dits, ceux dont les ſons, après le choc ou le frottement qui les fait naître, ſont diſtincts, comparables entr'eux, & de quelque durée. Car on ne doit pas nommer ainſi ceux dont la chûte ou l'ébranlement ne fait entendre qu'un bruit confus ou ſubit, tels qu'un tombereau que l'on décharge, le murmure d'une eau courante, ou le mugiſſement des flots

agités. Or on remarque qu'il n'y a que les corps élaſtiques qui ſoient véritablement ſonores, ſuivant cette définition ; & que le ſon qu'ils rendent, eſt tojours proportionnel à leurs vibrations, ſoit pour la durée, ſoit pour l'intenſité ou la force. XI. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 2. repréſente une cloche de verre ſuſpendue fixement entre deux montans qui ſont élevés ſur une baſe ; on frappe légérement pluſieurs coups ſur les bords de cette cloche, pour la faire ſonner ; & auſſi-tôt on fait avancer la vis *A* qui a ſon écrou dans l'épaiſſeur du montant : & on la fait avancer, juſqu'à ce que le bout ſoit fort près de la cloche ſans la toucher.

EFFETS.

On entend un petit frémiſſement du verre contre la pointe de la vis, & ce bruit dure autant que le ſon de la cloche ſubſiſte.



XI. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On attache à deux points fixes une corde de clavecin ou de vielle, qui a environ deux pieds de longueur, & avec un curedent ou une épingle, on appuie dessus le milieu pour la mettre en jeu.

EFFETS.

Pendant que la corde résonne, on l'apperçoit sous la figure d'un parallélogramme *BCDE*, *Fig.* 3. & cette figure cesse avec le son, dès qu'on la touche avec le doigt, ou avec quelqu'autre corps solide.

EXPLICATIONS.

On peut regarder une cloche comme une suite de zones circulaires, dont les diamétres décroissant suivant une certaine proportion, sont représentés par les lignes ponctuées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, *Fig.* 4. & chaque zone, par rapport à son épaisseur, comme un anneau plat composé de plusieurs circonférences concentriques,

centriques, *Fig.* 5. Ce que je dirai d'un de ces anneaux plats, doit s'entendre de toutes les zones. XI. LEÇON.

Si la matiere de la cloche n'étoit point poreuſe, toutes les circonférences concentriques qui compoſent la largeur d'un anneau, & qui font l'épaiſſeur de la cloche, ſeroient autant de lignes pleines & ſans interruption, comme les repréſente la *Fig.* 5. Mais comme les parties qui les compoſent, laiſſent entr'elles de petits intervalles, ces anneaux ſont repréſentés par la *Fig.* 6. d'une maniere plus conforme à la nature.

Maintenant qu'on ſe rappelle ce que nous avons dit * en expliquant le mouvement réfléchi: « Qu'une boule » élaſtique qui tombe ſur un marbre, » perd ſa figure ſphérique, & ne la » reprend qu'après avoir été quelque » temps un ellipſoïde, dont le grand » diamétre eſt de deux fois une, ho- » rizontal & enſuite vertical ». Il ſuit de-là que quand on frappe extérieurement le bord d'une cloche qui eſt un anneau élaſtique *a*, *b*, *c*, *d*, *Fig.* 7. il devient alternativement ovale ſur de ux ſens; & c'eſt en cela même que

* *Tome I. p.* 311.

XI. LEÇON.

consistent ses vibrations. Ainsi la même partie de la cloche *a*, par exemple, se portant d'*f* en *g*, & de *g* en *f*, successivement avec une grande vîtesse, heurte autant de fois le bout de la vis, & fait entendre ce frémissement qui a été le principal effet de la premiere expérience.

Mais cet anneau circulaire ne peut devenir ovale qu'à deux conditions : 1ment. Il faut qu'à deux endroits opposés de sa circonférence, les petites lames, ou les petits filets qui le composent, se plient d'abord davantage, & ensuite moins qu'ils ne le font, lorsqu'ils composent un cercle : 2ment. Il est nécessaire qu'aux endroits de la plus grande courbure, celles de ces parties qui forment les couches extérieures, s'écartent les unes des autres, plus qu'elles ne le sont dans leur état ordinaire.

Quant à la corde tendue, il faut aussi se souvenir de ce que nous en avons dit * en parlant des loix du ressort : « Que ses vibrations qui nous la » font voir sous la figure d'un paral- » lélogramme, (parce qu'elles sont toujours très-promptes, & que les

* Tome I. p. 309.

impressions qui nous la représentent, faisant un angle en-haut, subsistent encore au fond de l'œil, lorsqu'il en naît d'autres qui nous la font voir, faisant un angle en-bas;) » que ces » vibrations, dis-je, se font en con- » séquence de la réaction de toutes » les petites fibres, dont elle est com- » posée. » Car lorsque cette corde devient angulaire, elle est plus longue que quand elle tend en droite ligne d'un point fixe à l'autre. Il faut donc que ses moindres parties s'écartent un peu les unes des autres, pour se prêter à cet allongement, & qu'elles se rapprochent, pour se réduire dans la premiere longueur.

Ainsi dans la corde, comme dans la cloche, lorsqu'on excite le son, je conçois deux sortes de vibrations, les unes que j'appellerai *totales*, parce qu'elles sont du corps sonore tout entier, je veux dire, celles qui rendent les zones de la cloche ovales, de circulaires qu'elles sont, & qui nous font voir une corde de violle ou de clavecin sous la figure d'un parallélogramme; les autres que je nommerai *particulieres*, qui appar-

XI. LEÇON.

tiennent aux parties insensibles, & qu'on peut regarder comme les élémens des premieres.

On avoit toujours cru que les corps étoient sonores par leurs vibrations totales; mais on s'est désabusé de cette fausse idée, & c'est principalement à MM. Perault, Carré & de la Hire, qu'on doit cette correction. Le dernier de ces trois Académiciens prouve par une expérience bien simple, que le son consiste essentiellement dans les vibrations particulieres des parties insensibles : » Que l'on tienne, dit-il, * une pincette suspendue sur le doigt, & qu'avec l'autre » main on presse les deux branches » pour les laisser échapper ensuite; elles se mettent en vibrations, mais » elles demeurent muettes : au lieu » de les mettre en jeu de cette maniere, qu'on frappe dessus avec un » doigt ou avec quelqu'autre corps » solide, elles feront encore des vibrations comme dans la premiere » épreuve, mais pour cette fois elles » auront un son très-intelligible : qu'y » a-t-il de plus ici, sinon un tremblement dans les parties du fer, & que

* *Voyez les Mém. de l'Ac. pour l'année 1716. p. 264.*

»l'on ſent quand on y porte douce-
»ment la main? »

C'eſt donc à des parties qui frémiſſent que le ſon doit être attribué ; & après cette expérience on doit être perſuadé, que toutes les fois qu'il ſera poſſible de ſéparer ces deux eſpeces de vibrations, on n'aura jamais aucun ſon avec celles que nous appellons totales; mais quand celles-ci naiſſent des autres, (& c'eſt le cas le plus ordinaire) quoiqu'elles ne faſſent point le ſon par elles-mêmes, elles en réglent cependant la force, la durée & les modifications.

APPLICATIONS.

L'EXPLICATION des deux expériences précédentes peut ſervir à rendre raiſon de pluſieurs faits qui ont rapport à cette matiere, & qui méritent attention. Pourquoi, par exemple, fait-on les cloches d'un métal compoſé d'étain & de cuivre rouge? C'eſt que tout métal compoſé eſt plus dur, plus roide, & par conſéquent plus élaſtique que les métaux ſimples qui entrent dans le mélange: & comme les corps ſonores le ſont d'autant plus

XI. LEÇON.

que leurs parties ont plus de reſſort ; on allie la matiere des cloches & des timbres pour en tirer plus de ſon. La plûpart des ſonnettes cependant ne ſont que de cuivre ; mais c'eſt un mauvais cuivre, un métal devenu aigre, que les ouvriers appellent *Potain* : comme cette matiere eſt fort roide & caſſante, elle eſt plus ſonore que ne ſeroit un cuivre neuf & plus doux qu'on nomme *Roſette*. Quand on fait des ſonnettes d'argent pour les cabinets, elles ne peuvent avoir qu'un aſſez mauvais ſon, ſi le métal eſt ſans alliage, ou ſi l'on n'y ſupplée, en le forgeant à froid, ce qui lui donne plus de reſſort.

On fait ſubitement ceſſer le ſon d'une cloche, en la touchant avec la main ou avec quelqu'autre corps, parce qu'on interrompt les vibrations. C'eſt pour cela que les timbres des horloges, lorſqu'ils ſont couverts de neige, ne ſonnent que ſourdement, ainſi que les tambours que l'on couvre d'étoffe dans les cérémonies lugubres. Par la même raiſon une cloche fendue ne peut continuer ſes vibrations, parce que les bords de la

fente ſe heurtent réciproquement, & font, l'un à l'égard de l'autre, ce que pourroit faire un corps étranger qui toucheroit la cloche. Le ſon ſeroit probablement moins interrompu, ſi au lieu d'avoir une ſimple félure, la cloche étoit entr'ouverte de la largeur d'un travers de doigt ou davantage. On peut remarquer encore que les Horlogers ont toujours ſoin que les marteaux des timbres ſoient relevés ſubitement après le coup par un reſſort, afin que le même corps qui a excité le ſon ne l'altere pas, en reſtant trop long-temps appliqué au corps ſonore.

Puiſque le ſon n'eſt jamais qu'une ſuite de vibrations, on doit concevoir qu'il n'y en a point qui ſoit abſolument continu ; s'il nous paroît tel, c'eſt que le ſilence d'une vibration à l'autre eſt trop court pour être apperçu. Rien n'eſt plus propre à faire ſentir cette vérité qu'un inſtrument à anche, comme le haut-bois ou la muſette : une anche eſt compoſée de deux lames à reſſort & fort minces, de métal, de bois, ou de quelque autre matiere ; elles ſont jointes par

XI. Leçon.

un bout, & forment enſemble un petit tuyau ; par l'autre bout elles ſont plattes, & s'approchent de fort près ſans ſe toucher. Lorſque le ſouffle de la bouche ou le vent d'un ſoufflet met l'anche en jeu, les deux lames battent l'une contre l'autre avec une vîteſſe extrême, & rendent un ſon qui paroît auſſi continu que celui d'une flûte ou d'un violon. Cependant puiſque ce ſon vient des coups multipliés d'une lame ſur l'autre, il eſt inconteſtable qu'il y a un petit intervalle entre les battemens, & que le ſon qu'elles rendent n'eſt point continu.

C'eſt une méchanique aſſez ſemblable à celle d'une anche, qui fait la voix de la plûpart des inſectes ; car c'eſt une erreur de croire que le bourdonnement des mouches, le cri des cigales, celui des ſauterelles & des grillons, vienne de la bouche de ces petits animaux, ou des organes par leſquels ils prennent leur nourriture : dans les uns c'eſt un certain battement des aîles ; dans les autres, c'eſt le jeu d'une eſpece de tambour, qu'ils ont quelquefois dans le ventre ; comme la cigale, & d'autres fois ſur le

dos

dos vers le corcelet, comme il eſt aiſé de l'obſerver à certaines ſauterelles qui ſe retirent dans les buiſſons, & qui n'ont point d'aîles.

XI. Leçon.

Mais le ſon doit-il toujours ſon origine au choc ou aux battemens de deux corps ſolides, comme celui d'une cloche qui eſt frappée par un marteau, ou celui d'une corde qui eſt pincée avec l'ongle, ou avec le bout d'une plume? Les fluides ne ſeroient-ils point ſonores par eux-mêmes? ou bien ceux-ci frappés par des corps durs, ne ſeroient-ils pas capables de rendre des ſons!

On ſait à quoi s'en tenir ſur ces queſtions, quand on réfléchit un peu ſur certains effets qui ſe préſentent journellement. Un coup de fouet qu'un charretier ou un poſtillon fait retentir, le bruiſſement d'une petite planchette qu'un enfant fait tourner rapidement au bout d'une ficelle, le ſifflement d'une baguette que l'on ſecoue avec une grande vîteſſe, qu'eſt-ce autre choſe que le ſon de l'air frappé par un corps dur! Dans tous ces cas, & dans une infinité d'autres, c'eſt donc un fluide qui réſonne, &

XI. LEÇON.

dont les parties ſe mettent en vibrations pour avoir été choquées par un corps ſolide. Dans le ſon d'un ſifflet, ou d'une flûte, je ne vois rien autre choſe qu'un certain volume d'air qui part de la bouche du joueur pour frapper une autre maſſe d'air contenue dans l'inſtrument : car je penſe que les vibrations du bois n'y entrent pour rien, (ſi ce n'eſt peut-être pour tranſmettre, avec plus ou moins d'éclat, le ſon qui eſt déja formé.) Ce qui me fait croire que les vibrations de la flûte ne participent point à la formation des ſons qu'elle rend, c'eſt qu'on la tient & qu'on la touche pendant qu'elle eſt en jeu, & que ſes vibrations, ſi elle en avoit, ceſſeroient par ces attouchemens. L'inſtrument ne ſert donc, pour ainſi dire, que de meſure & d'enveloppe au volume d'air ſur lequel on ſouffle ; & l'on peut dire que tous les cas qui reſſemblent eſſentiellement à celui-ci, ſont autant d'exemples de ſons rendus par des fluides qui s'entrechoquent.

Il y a des gens, comme on ſait, qui caſſent un verre à boire par le ſon de leur voix, en préſentant l'ouver-

ture de la coupe devant leur bouche. Ce n'eſt pas, comme l'ont cru certaines perſonnes peu au fait de cette matiere, en prenant un ton aigre & diſſonant, ni comme l'a prétendu un Auteur * (qui a fait une diſſertation entiere ſur ce fait) que l'air agité par la voix pénétre le verre, & le force de s'ouvrir. C'eſt au contraire en prenant l'uniſſon du verre, & ſeulement en forçant la voix; car alors on augmente la grandeur des vibrations totales, & par conſéquent celles des vibrations particulieres d'où elles réſultent: mais comme ces dernieres ne peuvent ſe faire, ſans que les parties du verre s'écartent les unes des autres, lorſqu'elles deviennent trop grandes, l'écartement de ces parties va juſqu'à ſéparation ou ſolution de continuité, & alors le verre tombe en pieces; en un mot la voix forcée fait ſur le verre, ce que fait un archet que l'on traîne trop fort ſur une chanterelle. C'eſt encore ici un exemple du ſon excité, ou du moins augmenté, dans un corps ſolide par le choc d'un fluide.

* *Morhoff. de Siph. vitr. per cert. humanæ vocis ſonum fracto.*

XI. LEÇON.

Du MILIEU qui transſmet les ſons.

Les vibrations d'un corps ſonore ſe paſſeroient dans un parfait ſilence, s'il n'y avoit entre lui & nous quelque matiere capable de recevoir & de tranſmettre cette eſpece de mouvement: car tel eſt l'ordre de la nature, qu'un corps n'agit point ſur un autre, s'il ne le touche par lui-même ou par quelque matiere interpoſée; & de tous ceux qui ont imaginé des exceptions à cette loi générale, on peut dire qu'aucun n'en a encore donné des preuves ſuffiſantes. Mais quand bien même le corps ſonore agiroit ſur une matiere, la propagation du ſon n'auroit pas encore lieu, ſi cette matiere inflexible ou trop molle n'étoit capable de s'animer du même mouvement que lui. Voici donc deux conditions également néceſſaires & ſuffiſantes dans le milieu qui doit tranſmettre le ſon: 1ment, il doit avoir une certaine denſité, afin que ſes parties agiſſent aſſez fortement & aſſez librement les unes ſur les autres: 2ment, il doit être élaſtique, parce que le mouvement

de vibration naît du ressort des parties. Les expériences qui vont suivre serviront de preuves à ces deux propositions.

XI. Leçon.

III. EXPERIENCE.

Preparation.

On établit sur la platine d'une machine pneumatique, *Fig.* 8. un petit mouvement d'horlogerie, qui, lorsqu'il est en jeu, fait mouvoir deux marteaux qui battent alternativement sur un timbre. Cet instrument est monté sur une base de plomb, qui est garnie par-dessous d'un coussinet rempli de coton ou de laine (*a*); on couvre le tout d'un récipient qui est garni par en haut d'une boîte à cuirs: la tige de métal qui passe à travers, sert à détendre le petit levier *F*, pour mettre le rouage en mouvement, aussitôt qu'on a raréfié l'air du récipient le plus qu'il est possible.

Effets.

Si l'air est suffisamment raréfié, &

(*a*) Cet instrument est représenté plus en grand, *Tome I. 3e Leçon*, *Pl.* 2. *Fig.* 5.

XI. Leçon.

que la tige de la boîte à cuirs ne touche plus au levier de la détente, on voit battre les marteaux ſans entendre aucun ſon ; mais ſi l'inſtrument touche à la platine, au récipient ou à quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors, comme la tige qui a ſervi à détendre le levier, on entend un peu le tact des marteaux.

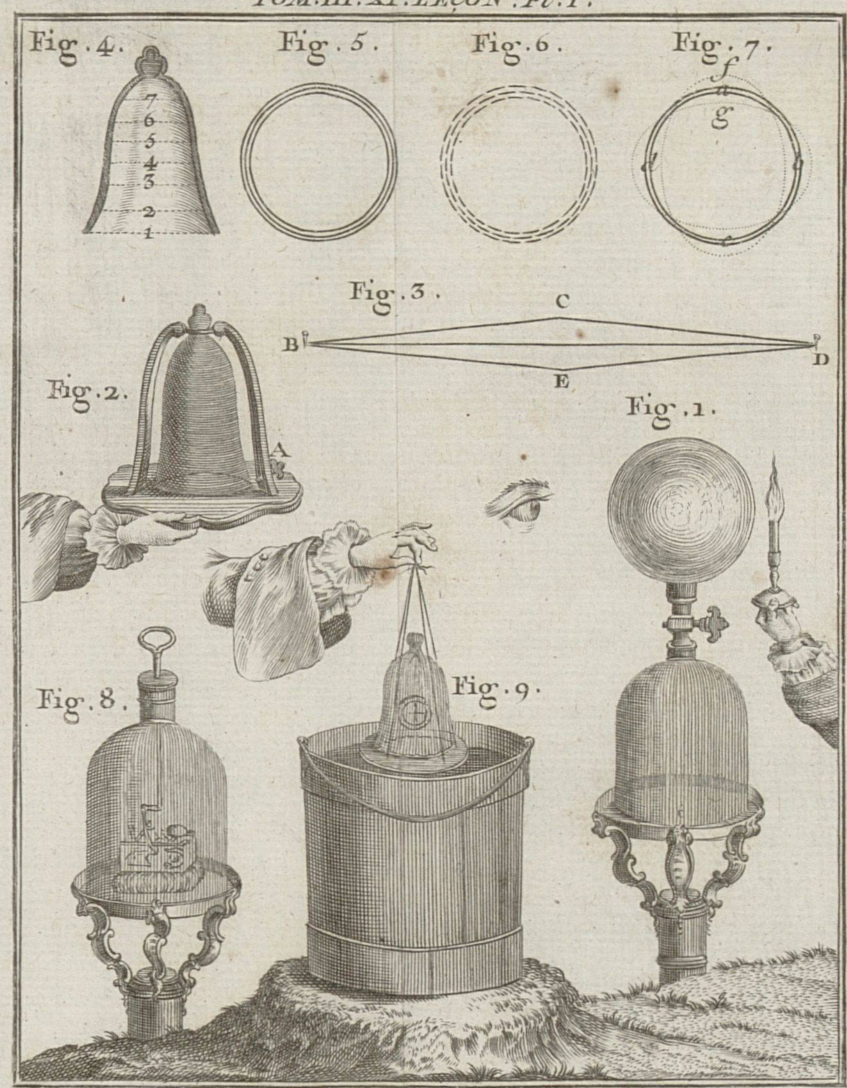
IV. EXPERIENCE.

Preparation.

Il faut fixer une montre à réveil ſur une platine de plomb épaiſſe de 4 à 5 lignes, que l'on couvre enſuite d'un petit récipient dont on lute les bords ſur le plomb avec de la cire molle : on ſuſpend enſuite cet aſſemblage avec 4 fils qu'on réunit au-deſſus du récipient, pour le plonger dans un grand vaſe cylindrique qui contient environ 30 pintes d'eau, que l'on a purgée d'air. *Voyez la Fig. 9.*

Effets.

Lorſque le réveil vient à ſonner, on l'entend quoiqu'il ſoit environné de pluſieurs pouces d'eau de toutes


Fig. 4.
7
6
5
4
3
2
1
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
f
g
Fig. 3.
C
B
D
E
Fig. 2.
A
Fig. 1.
Fig. 8.
Fig. 9.

parts; mais le ſon paroît fort affoibli.

EFFETS.

Un timbre qui fait ſes vibrations dans le vuide, ne les peut communiquer à rien; par conſéquent, puiſqu'elles n'operent le ſon que quand elles ſe tranſmettent, elles doivent ſe paſſer dans le vuide avec un profond ſilence. A la vérité il n'y a point un vuide abſolu dans le récipient de notre expérience; mais l'air qui y reſte eſt ſi raréfié, que ſes parties alors trop lâches n'ont point aſſez de réaction. Il manque à ce fluide la premiere des deux conditions que nous avons marquées ci-deſſus, c'eſt-à-dire, une denſité ſuffiſante qui mette les parties en état d'agir fortement les unes ſur les autres.

On dira peut-être qu'au défaut de l'air groſſier, il y a toujours dans ce vaiſſeau une matiere plus ſubtile, ne fût-ce que celle de la lumiere ou du feu; mais apparemment que cette matiere, telle qu'elle ſoit, n'eſt point propre à la propagation du ſon, ſoit que ſon reſſort ne ſoit point analogue à celui des corps ſonores, ſoit que

XI. LEÇON.

ceux-ci n'ayent point de prise sur elle ; à cause de l'extrême facilité avec laquelle elle pénetre tous les corps.

Cette expérience du timbre ou d'une sonnette dans le vuide, si connue & tant répetée dans les colleges, a fait conclure à bien des gens, que l'air est le seul milieu propre à la propagation du son. Qu'il y soit propre & plus qu'un autre, cela n'est point douteux ; qu'il soit le seul, je crois que c'est trop dire. Car pourquoi cette même expérience ne réussit-elle pas au gré de ceux qui la font, quand ils n'ont pas soin d'isoler le corps sonore, ou d'empêcher qu'il ne touche immédiatement la platine, le récipient ou quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors ! n'est-ce point parce que le son se transmet par les corps solides qui ont communication d'une part avec le timbre, & de l'autre avec l'air extérieur ?

D'ailleurs la quatrieme expérience ne nous laisse, ce me semble, sur cela aucun doute. Si le son ne pouvoit se transmettre que par l'air, pourquoi l'entendroit-on lorsque le corps sonore enfermé par le verre & par le

plomb, ſe trouve plongé dans un vaſe plein d'eau ! n'eſt-on pas forcé de reconnoître que le ſon ſe communique du réveil à l'air qui l'environne, de l'air au récipient, du récipient à l'eau, & de l'eau à l'air extérieur !

Dira-t-on que cette communication ne ſe fait point par les parties propres du verre & de l'eau, mais par celles de l'air qu'ils contiennent, & qui ſe trouve naturellement dans tous les corps.

J'ai prévenu cette objection en me ſervant d'eau purgée d'air : & quand on m'objecteroit encore, que l'on n'ôte jamais tout l'air qui eſt dans l'eau ; j'aurois à répondre que j'en ai ôté une grande partie, & que ſi cet air contribuoit néceſſairement à la propagation du ſon, je devrois au moins trouver une différence ſenſible, en répétant la même expérience avec pareille quantité d'eau non-purgée d'air ; ce que je n'ai cependant jamais apperçu, quelqu'attention que j'aye apporté.

Si quelque raiſon pouvoit faire douter que les parties de l'eau fuſſent capables par elles-mêmes de tranſ-

mettre les ſons, ce ſeroit l'opinion où l'on eſt communément, que les liqueurs ne ſont point compreſſibles; car ſi cela étoit à la rigueur, elles n'auroient pas de reſſort; & tout corps qui n'eſt point élaſtique, n'eſt point ſuſceptible d'un mouvement de vibration.

XI. LEÇON.

Mais ſur quel fondement a-t-on cru juſqu'ici que les liqueurs étoient incompreſſibles? C'eſt parce que les Académiciens de Florence, & pluſieurs autres Phyſiciens qui les ont éprouvées à cet égard, n'ont jamais pu reſtraindre leur volume par compreſſion. Mais cela ſuffit-il pour établir ſans reſtriction que les liquides ſont incompreſſibles? n'auroit-on pas conclu plus ſagement, que ſi elles ſe compriment par les efforts que nous ſommes en état d'employer contre elles, c'eſt d'une ſi petite quantité, que leur volume n'en diminue jamais ſenſiblement?

Aucun fait connu ne prouve donc l'incompreſſibilité abſolue de l'eau; j'ai expoſé ailleurs * des raiſons qui combattent fortement cette opinion; & il me ſemble que notre derniere ex-

* Tome I. p. 122. & ſ.

périence achéve de la détruire : car si l'eau transmet le son, elle est élastique ; & si elle est élastique, il faut qu'elle soit compressible. XI. LEÇON.

APPLICATIONS.

PUISQUE le son se transmet par les corps solides, comme le prouvent d'une maniere incontestable les précautions qu'il faut prendre, pour faire réussir la premiere des deux expériences précédentes ; on ne doit plus être aussi surpris d'un fait qui amuse les enfans, & qui intéresse l'attention des personnes les plus sérieuses ; c'est d'entendre distinctement le choc d'une épingle contre l'extrémité d'une longue poutre, lorsqu'on a l'oreille à l'autre bout : car à cause de la contiguité des parties, ce choc est rendu à l'air qui touche le bout opposé de la piece de bois. Il est cependant toujours bien singulier que le bruit perde si peu de sa force pour parvenir à une si grande distance, tandis qu'à peine peut-il être entendu à travers l'épaisseur de la même poutre ; c'est apparemment parce que les fibres longitudinales du bois sont bien moins inter-

rompues par leur porosité, que ne l'est l'assemblage de ces mêmes fibres qui fait l'épaisseur de la piece.

XI. Leçon.

Non-seulement le son excité dans l'eau se transmet à l'air de l'atmosphere, mais aussi celui qui naît dans l'air passe dans l'eau, & y fait sentir toutes ses modifications. J'ai eu la curiosité de me plonger exprès à différentes profondeurs dans une eau tranquille, & j'y ai entendu très-distinctement toutes sortes de sons, jusqu'aux articulations de la voix humaine.

Il est vrai que tous ces sons étoient fort affoiblis, sans doute parce que les parties de l'eau, beaucoup moins flexibles que celles de l'air, ne peuvent avoir des vibrations ni si amples ni d'une si longue durée: mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que cet affoiblissement se fait presque tout entier au passage de l'air dans l'eau; car à trois pieds de profondeur, j'entendois presqu'aussi bien qu'à trois pouces.

C'est une question parmi les Naturalistes de savoir si les poissons ne sont pas sourds comme ils sont muets; & quoique les plus habiles * s'en

* *Pline*,

Boyle, Archedi, Rondelet, &c.

ſoient mêlés, elle eſt encore indéciſe, au grand étonnement du vulgaire, qui juge toujours ſur les premieres apparences, & ſur l'analogie la moins approfondie. « Tous les autres animaux entendent ; pourquoi » les poiſſons n'entendroient-ils pas ? » Les poiſſons fuyent comme les oiſeaux quand on fait du bruit : les « uns comme les autres en ſont donc » effarouchés ? » Mais le vulgaire ne ſait pas qu'on ne connoît point d'oreilles aux poiſſons, ni rien qui en faſſe l'office ; il ignore auſſi qu'on a coutume de regarder l'eau qui eſt leur élément naturel, comme incapable de reſſort, & que dans cette ſuppoſition, on ſeroit bien fondé à la croire imperméable au ſon. Si le poiſſon fuit quand on fait du bruit, il faut être bien aſſuré qu'il n'a pû appercevoir aucun mouvement qui l'ait déterminé à fuir ; & je ſais par moi-même que ce n'eſt point une choſe fort aiſée à décider, pour quelqu'un qui eſt en garde contre le préjugé (*a*)

(*a*) Voyez dans les *Mémoires préſentés à l'Académie Royale des Sciences, par les Savans*

XI. LEÇON.

Quoi qu'il en ſoit, ſi le poiſſon n'entend point les ſons qui viennent de l'air, l'empêchement ne vient pas de l'eau, puiſqu'elle les tranſmet ; je ne regarde point non plus comme une raiſon qui établiſſe abſolument ſa ſurdité, un défaut d'oreilles ſemblables à celles des autres animaux : cet organe, dans le poiſſon, pourroit être tout autrement conſtitué qu'il ne l'eſt dans les animaux qui reſpirent l'air ; que ſait-on ſi ce ſens n'eſt point univerſel pour eux, comme le toucher l'eſt pour nous ? ce qui me fait hazarder ce ſoupçon, c'eſt qu'ayant plongé avec moi des corps ſonores, le bruit ou le ſon que j'ai fait naître dans l'eau, m'affectoit tout le corps par une certaine commotion très-ſenſible, ce qui vient ſans doute de la grande ſolidité des parties de l'eau. (*a*)

Par quelque milieu que le ſon ſe

Etrangers, tom. 2. p. 164. un Mémoire de M. Geofroi, Docteur en Médecine de la Faculté de Paris, qui eſt le commencement d'un excellent travail ſur cette matiere.

(*a*) Voyez les expériences que j'ai faites *ſur la tranſmiſſion des ſons dans l'eau*, Mémoire de l'Académie des Sciences, 1743. p. 119.

transſmette, il employe un temps qui eſt ſenſible, lors même que la diſtance eſt aſſez médiocre ; bien différent en cela de la lumiere, dont la propagation ſe fait dans un inſtant très-court à des diſtances fort grandes. Cette différence eſt un moyen commode, & dont on n'a pas manqué de faire uſage pour meſurer la vîteſſe du ſon. Car ſi l'on fait tirer un coup de canon ou une boîte à une diſtance connue, on peut prendre ſans erreur ſenſible, l'éclat de lumiere qu'on apperçoit comme le ſignal du ſon naiſſant ; & l'on comptera, par le moyen d'un pendule à ſecondes, le temps qui s'écoulera juſqu'à ce qu'on l'entende ; ainſi le temps ſera connu comme l'eſpace, ce qui donnera la vîteſſe.

Cette expérience faite & répétée depuis long-temps par l'Académie del Cimento, par MM. Flamſteed, Halley, Derham, &c. avoit fait conclure la vîteſſe du ſon, de 180 toiſes meſure de France par ſeconde ; mais il reſtoit encore quelque incertitude ſur les réſultats, ſoit parce qu'ils ne s'accordoient point parfaitement entr'eux, ſoit parce qu'on avoit employé

XI. LEÇON.

des distances trop peu considérables. En 1738, l'Académie des Sciences*, pour terminer avec précision une question qui peut être d'une application utile, soit pour la Géographie, soit pour la sûreté de la navigation, chargea MM. de Turi, Maraldi, & l'Abbé de la Caille, de faire à cet égard les expériences nécessaires, & avec les précautions les plus convenables au sujet. Ces Académiciens firent leurs opérations sur une ligne de 14636 toises qui avoit pour termes la tour de Montlhery, & la pyramide de Montmartre; & voici quels en furent les principaux résultats.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1738. p. 128.

1°. Le son parcourt 173 toises mesure de Paris en une seconde de temps, de jour ou de nuit, par un temps serein ou par un temps pluvieux. Le mouvemenr de la lumiere n'a donc point de part à la propagation du son; & les vapeurs mêlées avec les particules de l'air n'interrompent point le mouvement de vibration.

2°. S'il fait un vent dont la direction soit perpendiculaire à celle du son, celui-ci a la même vîtesse qu'il auroit par un temps calme.

3°. Mais si le vent souffle dans la même ligne que parcourt le son, il le retarde ou il l'accélere selon sa propre vîtesse; c'est-à-dire, qu'avec un vent favorable le son parcourt 173 toises par seconde, plus la vîtesse du vent; & tout au contraire, si le vent est directement opposé. Et voilà pourquoi, lorsque le vent change de direction & de vîtesse, on entend du même lieu certaines cloches que l'on ne peut entendre dans d'autres temps. Ainsi connoissant la vîtesse du son accélérée par le vent, on pourra estimer la vîtesse propre du vent; car ôtant de la vîtesse accélérée 173 toises par seconde pour celle du son, le reste sera celle du vent.

4°. La vîtesse du son est uniforme, c'est-à-dire, que dans des temps égaux & pris de suite, il parcourt toujours des espaces semblables.

5°. L'intensité ou la force du son ne change rien à sa vîtesse: quoiqu'un son plus fort s'étende plus loin qu'un plus foible; celui-ci parcourt comme l'autre 173 toises par seconde.

Toutes ces connoissances, & les épreuves par lesquelles on les a acqui-

XI. LEÇON.

ſes, fourniſſent des moyens prompts & commodes, pour meſurer l'étendue des lieux où les opérations géométriques ne ſont point néceſſaires ou pratiquables, comme la largeur des lacs ou des rivieres à leur embouchure. Car puiſqu'après avoir apperçu la lumiere d'une arme à feu, chaque ſeconde de temps répond à une diſtance de 173 toiſes, c'eſt une choſe fort aiſée de ſavoir combien il s'eſt écoulé de ſecondes, juſqu'au moment où le bruit s'eſt fait entendre. Le même moyen peut être d'un grand ſecours dans un temps couvert, pour des vaiſſeaux qui craignent de ſe briſer contre les côtes; car ſi au lieu d'un fallot, qui en pareil cas ne ſe voit pas de fort loin, on faiſoit tirer de temps en temps quelques boîtes ou quelques coups de canon, cette lumiere, qui eſt beaucoup plus active & plus perçante, indiqueroit bien mieux l'endroit que l'on doit aborder ou éviter, & le bruit qui ſuccéderoit, en marqueroit la diſtance à des navigateurs attentifs.

Nous avons dit ci-deſſus, que les corps ſont d'autant plus ſonores qu'ils

ont plus de densité, & en même temps plus de ressort : il en est de même de tous les milieux qui transmettent le son ; & comme l'air est celui de tous, qui nous est le plus familier, nous nous y arrêterons par préférence.

XI. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A B, *Fig.* 10. est une planche fort épaisse sur laquelle sont élevés deux piliers *C*, *D*, qui reçoivent par en haut une traverse *E F*; cette derniere piece est assujettie par deux vis qui la font descendre autant qu'il est nécessaire, pour presser fortement un récipient de verre fort épais. Ce vaisseau repose d'une part sur des cuirs mouillés, & il est fermé par en haut avec une platine de métal, garnie aussi d'un cuir mouillé par dessous, de sorte que l'intérieur du récipient, lorsqu'il est serré dans son chassis, ne communique qu'avec la pompe foulante *G*, par un petit canal où l'on a pratiqué un robinet. Cette pompe est tout-à-fait semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus * en par-

* P. 231.

XI. Leçon. lant de la fontaine de compreſſion, c'eſt-à-dire, qu'il y a au bout, immédiatement avant le robinet, une petite ſoupape qui permet que l'air ſorte de la pómpe, mais non pas qu'il y revienne du récipient lorſqu'on reléve le piſton : ainſi le robinet étant ouvert, on peut condenſer l'air dans le récipient, autour d'une ſonnette qui eſt ſuſpendue de maniere qu'on peut la faire ſonner en balançant un peu le chaſſis.

Comme l'air fortement condenſé fait un grand effort, c'eſt une ſage précaution à prendre que de revêtir le vaiſſeau d'une cage d'un gros fil de fer, afin que s'il vient à crever, les éclats ne cauſent aucun dommage.

Pour condenſer l'air en proportions connues, il faut enfermer dans le récipient, un petit ſiphon renverſé dont la branche la plus longue ſoit fermée, & qui contienne, à l'endroit de ſa courbure, un peu de mercure, ou de liqueur colorée, *Fig.* 11. car à meſure que l'air deviendra plus denſe, en preſſant par la branche la plus courte qui eſt ouverte, il forcera la liqueur de monter dans l'autre, &

condenſera l'air *a b* autant qu'il le ſera lui-même : ainſi quand cette petite colonne d'air ſera reſſerrée dans un eſpace d'un tiers ou de moitié plus petit qu'auparavant, (ce qu'on appercevra par la graduation de la petite planche,) on jugera que l'air du récipient eſt condenſé d'un tiers, ou une fois davantage.

EFFETS.

Quand l'air a été condenſé dans le récipient, le ſon que rend la ſonnette eſt ſenſiblement plus fort qu'il n'a coutume d'être, lorſque l'air eſt dans ſon état naturel ; car alors on l'entend de plus loin.

EXPLICATIONS.

Puiſque le ſon conſiſte eſſentiellement dans les vibrations de toutes les parties qui compoſent le corps ſonore, il doit y avoir plus de ſon partout où il ſe trouve plus de parties ſonnantes, & un reſſort plus actif : or ces deux choſes ſe rencontrent, lorſque l'air eſt plus condenſé : ſes parties ſont plus ſerrées ; il y en a un plus grand nombre dans un eſpace donné,

XI. LEÇON.

& le reſſort de chacune de ces parties eſt plus tendu ; l'air, en cet état, doit donc être plus ſonore que quand il eſt plus rare.

Hauxbée, auteur de cette expérience *, ne s'eſt point contenté d'apprendre en général que le ſon devient plus fort, lorſqu'on augmente la denſité & le reſſort de l'air ; il a porté ſes recherches juſques ſur les proportions de cet accroiſſement. Avant que de condenſer l'air, il a marqué la diſtance à laquelle on ceſſoit d'entendre la ſonnette enfermée dans le récipient : puis l'ayant condenſé une fois plus que dans ſon état ordinaire, il trouva que le ſon s'étendoit à une diſtance une fois plus grande ; & qu'après avoir triplé la denſité de l'air, on entendoit la ſonnette de trois fois plus loin, &c.

* *Tranſact. Phil. n.* 321.

Que falloit-il conclure de ces effets ? que le ſon augmente en raiſon directe de la denſité de l'air ? non, le rapport eſt plus grand ; car quand on entend la ſonnette à une diſtance double, il faut qu'à une diſtance de moitié moins grande, le même ſon ſoit quatre fois plus fort, & en voici la raiſon.

Le corps ſonore communique de toutes parts ſes vibrations à l'air qui l'environne : ſon action ſe propage donc par des rayons de ce fluide qui vont toujours en s'écartant les uns des autres comme ceux d'une ſphere ; & l'oreille qui écoute devient la baſe d'un cône d'air animé par le corps ſonore qui eſt au ſommet. *Voyez la Fig.* 12.

XI. LEÇON.

Or c'eſt une choſe connue de tous ceux qui ont quelques notions de Mathématiques, que le cercle dont le diamétre eſt deux fois plus grand que celui d'un autre, renferme par ſa circonférence un eſpace qui a quatre fois plus d'étendue ; & pour exprimer cette proportion d'une maniere générale, les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres, ainſi le cône *a b c*, a une baſe quatre fois plus étendue que *a d e*, qui eſt une fois plus court ; car *d e*, diamétre de celui-ci, n'eſt que la moitié de *b c*, diamétre de l'autre ; & par conſéquent, ſi l'ouverture de l'oreille qu'on ſuppoſe circulaire, eſt d'un diamétre égal à *d e*, lorſqu'elle eſt placée à la 1re diſtance, elle reçoit quatre fois plus de rayons

XI. LEÇON.

ſonores qu'elle n'en recevroit à la 2de diſtance.

Par la même raiſon, elle en recevroit 9 fois moins à la 3me, 16 fois moins à la 4me : & comme 16 eſt le quarré de 4, 9 le quarré de 3, 4 le quarré de 2; on peut dire généralement que *le ſon décroît comme le quarré de la diſtance qui augmente.*

Mais puiſqu'ayant doublé la denſité & le reſſort de l'air tout enſemble, on entend le ſon deux fois plus loin qu'auparavant; qu'avec un air 3 fois plus denſe, & 3 fois plus élaſtique, on l'entend à une diſtance 3 fois plus grande; en ſuivant le principe que je viens d'expliquer, il faut que l'intenſité du ſon ſoit, ou comme le quarré de la denſité, ou comme le quarré de l'élaſticité de l'air, ou bien comme le produit de l'une multipliée par l'autre. M. Zanotti * curieux de ſavoir laquelle de ces trois loix étoit celle de la nature, s'eſt enfin fixé à la troiſieme, après des expériences autant ingénieuſes que délicates, & dont il faut voir le détail dans ſes ouvrages, ou dans les extraits qu'on en a faits.

* *De Bononienſi Scient. & Art. Inſtituto Commentarii, p. 176.*

APPLICATIONS.

XI. LEÇON.

APPLICATIONS.

IL ſuit de ces principes fondés ſur l'expérience & ſur le raiſonnement, que les corps ſonores doivent ſe faire entendre plus fortement par un temps froid que lorſqu'il fait fort chaud, puiſqu'alors l'air eſt plus condenſé, & qu'il a plus de reſſort : mais cette augmentation de denſité n'eſt point aſſez conſidérable apparemment pour avoir un effet ſenſible à l'égard des ſons, ou bien comme ces changemens ſe font par degrés & lentement, ce qui en réſulte pour l'augmentation ou pour l'affoibliſſement des ſons, ne ſe fait point remarquer.

Tout le monde connoît l'effet des trompettes parlantes, ou *porte-voix* : le Chevalier Morland, & ceux qui ſe ſont appliqués comme lui à perfectionner cet inſtrument, ſemblent n'avoir eu en vûe que la direction des rayons ſonores, & avoir rapporté à cette ſeule cauſe l'augmentation du ſon ; c'eſt pourquoi M. Haſe veut qu'il ſoit compoſé de deux parties, dont une ſoit elliptique, & l'autre parabolique, *Fig.* 13. & qu'elles ayent un

foyer commun en *b*, afin, dit-il, que les rayons partant de l'embouchure *a*, premier foyer de la portion elliptique, & étant réfléchis de tous les points *c*, *d*, *e*, *f*, &c. se croiſent au foyer *b*, qui eſt commun à la portion parabolique, pour être enſuite réfléchis parallélement des points *h*, *i*, *k*, *l*, &c.

On ne peut nier aſſûrément que cette forme ou quelqu'autre peut-être encore plus avantageuſe, ne contribue beaucoup à augmenter le ſon dans la direction *a g*, ou ſuivant l'axe de l'inſtrument; puiſqu'il doit ſe trouver par ce moyen autant de mouvement dans la colonne d'air *i l m n*, qu'il y en auroit dans toute l'hémiſphere, dont le centre ſeroit occupé par la bouche d'un homme qui parleroit ſans porte-voix. Mais doit-on être ſatisfait de cette raiſon, quand on demande pourquoi à côté & derriere l'inſtrument, le ſon paroît encore ſi fort augmenté? Comme la réflexion du ſon ſuit les mêmes loix que celle de la lumiere, ſuppoſons que le porte-voix de M. Haſe ſoit poli intérieurement comme un miroir, & plaçons en *a* un point radieux comme

une bougie ; que doit-il arriver ? la lumiere sera condensée, & il sera certainement plus clair en *m n*, qu'il n'y seroit sans le secours de l'instrument ; mais tous les environs, au lieu d'être plus éclairés, seront dans une grande obscurité. Il y a donc, à l'égard du son, quelqu'autre chose qu'un mouvement réfléchi en conséquence de la figure du porte-voix.

Oui sans doute, & l'on peut dire en général que le son augmente toutes les fois que le corps sonore imprime son mouvement à un air qui est appuyé ; la voix se fait mieux entendre dans les rues d'une ville qu'en rase campagne, & mieux encore dans une chambre close que dans la rue : c'est que les particules d'air qui ont été plus fortement pliées, font des vibrations plus grandes ; & l'air, comme tout autre ressort, se comprime d'autant plus, qu'il se déplace moins pendant que la puissance comprimante agit sur lui.

Mais cette augmentation du son causée par l'immobilité de l'air est encore plus sensible, quand c'est un corps dur qui arrête & qui soutient

XI. LEÇON.

les parties de ce fluide. Un Orateur se fait mieux entendre, quand il y a moins de monde pour l'écouter, & que le lieu où il parle n'est pas meublé; car alors le son, au lieu de s'amortir, comme il fait en frappant des corps mols & sans réaction, revient sur lui-même, ou se porte d'un autre côté, suivant la maniere dont il est réfléchi. Voilà pourquoi le bruit du tonnerre, celui du canon ou d'un fusil, s'étend plus loin dans les vallées & le long des rivieres que dans le pays plat; & que dans les aqueducs & dans les autres souterreins voûtés, la voix la plus forte se porte intelligiblement d'un bout à l'autre. C'est encore par la raison d'un air immobile, (d'ailleurs fortement comprimé, & appuyé contre des parois fort dures) qu'un homme enfermé dans l'eau sous la cloche du plongeur, pensa s'évanouir par l'étonnement que lui causa le son d'un cornet ou petit cor qu'il essaya d'emboucher.* On doit expliquer par le même principe ce qui surprend les curieux dans des édifices où la voix la plus basse se fait entendre d'un angle à l'autre, sans que les assistans

* *Sturm. Colleg. Curios. T. II. Tentam. I.*

qui ſont placés par-tout ailleurs, puiſſent entendre un mot de ce qu'on dit; car ces angles ſont ordinairement continués à la voûte, & ils contiennent une portion d'air qui ne ſe déplace point, & dans laquelle le ſon devient & ſe conſerve plus fort; & la figure de la voûte occaſionne des réflections telles qu'il les faut pour le tranſmettre.

Enfin quand la maſſe d'air qui reçoit le ſon, ſe trouve contenue par des parois qui étant dures, ſont encore minces & élaſtiques, au premier effet dont je viens de parler, il s'en joint un autre; non-ſeulement le ſon augmente en dedans, parce que l'air intérieur eſt ſolidement appuyé; mais ce même ſon augmenté ſe tranſmet auſſi à l'air extérieur, parce qu'l frappe un corps élaſtique & qu'il le met en jeu. Pour preuve de ceci, que l'on ſupprime, que l'on créve, ou qu'on lâche ſeulement l'une des peaux d'un tambour; en frappant ſur celle qui reſte, on n'en tirera pas autant de ſon qu'auparavant; d'où vient cette différence? c'eſt que l'air contenu dans la caiſſe n'a plus d'appui par en bas, au

XI. LEÇON.

lieu que quand il eſt appuyé ſur une peau bien tendue, il reçoit plus de mouvement, parce qu'il réſiſte davantage; & il le communique au-dehors, parce qu'il repoſe ſur un corps élaſtique.

Maintenant on voit bien pourquoi le ſon augmente non-ſeulement dans la direction du porte-voix, mais auſſi dans tous les environs; car cet inſtrument, comme on ſait, eſt fait de feuilles de métal fort minces, & par conſéquent très-propres à tranſmettre au-dehors le ſon qui augmente beaucoup au-dedans, parce que la maſſe d'air que la voix frappe, eſt contenue par des parois fort dures.

Ce que je dis du porte-voix peut s'entendre de tout autre inſtrument, même de ceux qui ſont à cordes: car pourquoi faut-il, par exemple, qu'un clavecin ou une baſſe de viole, ſoit une caiſſe de bois mince & élaſtique? c'eſt que ſans cela le ſon des cordes ſe communiqueroit à un air vague & ſans appui, qui échapperoit, pour ainſi dire, à leur choc, au lieu qu'elles agiſſent ſur une maſſe qui eſt comme forcée de recevoir d'elles un plus grand

mouvement, & qui le transmet au-dehors par la réaction du bois.

XI. LEÇON.

Le son comme tout autre mouvement change de direction, lorsqu'il rencontre des obstacles qui ne l'absorbent point: & alors il suit la loi commune; * l'angle de sa réflection devient égal à celui de son incidence.

* Tome I. p. 289.

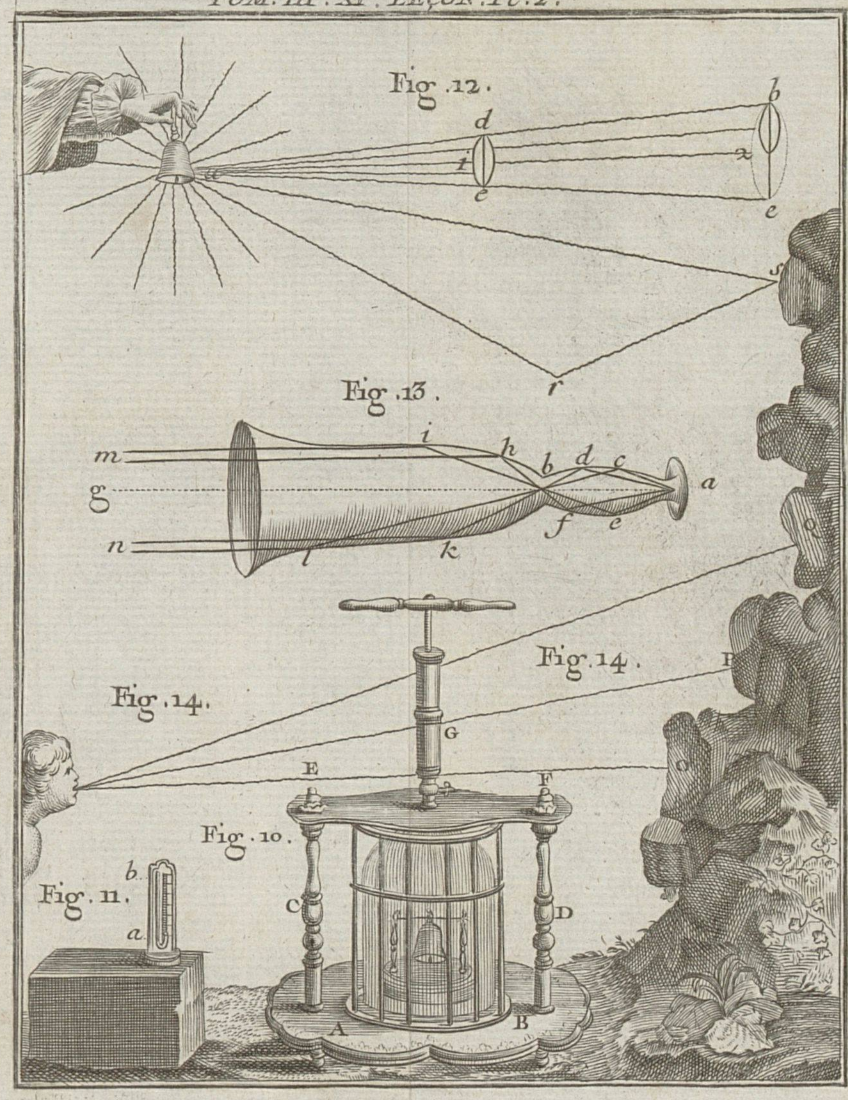
Le son réfléchi que l'on nomme communément *Echo*, ne se distingue point du son direct, c'est-à-dire, de celui qui vient immédiatement du corps sonore: quand la réflection se fait de fort près, l'un & l'autre se confondent. Mais lorsqu'il y a une distance suffisante, comme le son qui vient par réflection, fait plus de chemin que celui qui vient directement, il arrive plus tard à l'oreille, & y répéte la premiere impression. Supposons, par exemple, qu'une personne parle à voix haute, vis-à-vis d'un rocher *O*, éloigné de 173 toises, *Fig.* 14. elle s'entendra parler dans le même instant; mais le son qui ira frapper en O, & qui reviendra à elle par réflection, employera deux secondes de temps à cause du double trajet de 173 toises. Et parce que le son qui va plus

XI. LEÇON.

loin, met plus de temps pour aller & pour revenir, s'il y a des obstacles en P & en Q, qui réfléchissent les rayons sonores vers le même endroit, on y entendra successivement deux, trois ou quatre échos. C'est encore par cette raison, qu'étant placé en *r*, *Fig.* 12. on entend d'abord le son de la cloche *a* par le rayon *a r*, & ensuite l'écho de la même cloche par les rayons *as*, *sr*.

Les échos ne se trouvent point en rase campagne, mais très-communément dans les bois, dans les rochers, & dans les pays montagneux, parce que le son y rencontre bien fréquemment des obstacles qui le réfléchissent; on en a observé qui répétent un grand nombre de fois, comme celui de Wostock, qui répéte distinctement 17 syllabes pendant le jour, & 20 pendant la nuit*: mais on a toujours observé en même temps que les dernieres répétitions sont plus foibles que les premieres, ce qui est une conséquence nécessaire; car les sons qui viennent les derniers, ont fait plus de chemin que les autres, & le son est un mouvement qui diminue comme le quarré de la distance qui augmente,

*Rob. Plot: *Hist. nat. de la Province d'Oxfort en Angleterre.*


Fig. 12.
b
d
i
x
e
e
s
r
Fig. 13.
m
g
n
i
h
b
d
c
a
f
e
l
k
Fig. 14.
Fig. 14.
P
G
E
F
O
Fig. 10.
b.
Fig. 11.
C
D
a.
A
B

à moins que l'obſtacle qui réfléchit les rayons ſonores, ne ſoit d'une figure propre à diminuer leur divergence.

Les échos deviennent quelquefois des phénoménes fort ſinguliers, par la rareté des circonſtances qui les font naître : à trois lieues de Verdun il y a deux groſſes tours éloignées l'une de l'autre de 36 toiſes, lorſqu'on parle un peu haut dans la ligne qui joint ces deux édifices, la voix ſe répéte 12 ou 13 fois, toujours en s'affoibliſſant ; les deux tours ſe renvoyent le ſon alternativement, comme deux miroirs qui ſe regardent, multiplient l'image d'une bougie placée entre eux : * on voit encore la deſcription d'un écho plus ſingulier dans les Mémoires de l'Académie, imprimés avant 1700. ** On trouve aſſez facilement la cauſe de tous ces effets, en étudiant avec un peu d'attention, la nature & la poſition des lieux, ou la figure de tout ce qui eſt élevé ſur le terrein.

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc* 1710. p. 13.

** *Tom. X. p.* 187.

De l'Ouie, & de ſon Organe.

DANS le premier volume de cet ouvrage j'ai fait une digreſſion ſur les

XI. LEÇON.

ſens, où j'ai traité ſeulement du toucher, du goût & de l'odorat; on a dû voir par ce que j'en ai dit, que ces trois premiers ſens ne nous mettent en commerce qu'avec les objets qui agiſſent immédiatement ſur nous, ſoit par eux-mêmes, ſoit par leurs émanations. Mais à quoi en ſerions-nous réduits, s'il n'y avoit rien de ſenſible pour nous, que par des actions immédiates; ſi nous n'appercevions une bête féroce ou venimeuſe, que par ſa morſure, une pierre qui menace notre vie, que quand elle commence à nous écraſer? Quel tableau ſeroit-ce que celui du monde, ſi tous les hommes reſſembloient à ces créatures imparfaites, qu'une ſurdité ou un aveuglement de naiſſance met hors d'état de participer à la plûpart des idées communes (*a*), & qui ſeroient plus malheureuſes encore, ſi plus favorablement traités par la nature, nous n'étions capables d'adoucir un peu la rigueur de leur ſort. Par le ſecours de l'ouie & de la vûe

(*a*) Voyez l'hiſtoire d'un ſourd & muet de naiſſance qui commençe à entendre & à parler à l'âge de 24 ans. *Hiſt. de l'Académie des Sciences*, 1703. *p.* 18.

nous ſortons, pour ainſi dire, de nous-mêmes; nous allons au-devant des objets; nous les jugeons de loin; & ſur le rapport de ces deux ſens, le déſir ou la crainte nous fait prendre & les moyens & les précautions néceſſaires à notre bien-être.

On auroit peine à dire ce qui nous eſt le plus néceſſaire, ou de la vûe ou de l'ouïe. C'eſt ordinairement en ſuppoſant la privation de l'une ou de l'autre, que l'on eſſaye d'en juger; mais bien ſouvent cette comparaiſon manque de juſteſſe & conduit à un faux jugement, parce qu'on ne met pas les circonſtances égales de part & d'autre. Il y a une grande différence à faire d'un aveugle ou d'un ſourd de naiſſance, à celui qui a vû ou entendu juſqu'à un certain âge, & qu'un accident a privé de l'un de ces deux ſens; je n'ai point aſſez médité ſur les regrets d'un homme qui ſait qu'on peut voir, & qui n'a jamais vû, pour les comparer à ceux d'un autre homme qui ſait qu'on peut entendre, & qui n'a jamais entendu; j'ignore quelle eſt leur peine, & de quel côté il y en a davantage; mais à préſent que

XI. LEÇON.

je ſens combien il eſt difficile de faire naître des idées à quelqu'un qui n'entend point, & de combien de connoiſſances divines & humaines eſt privé un homme qui n'a pu avoir aucune éducation, j'aimerois mieux être né aveugle que ſourd. Je choiſirois tout différemment, ſi connoiſſant l'écriture, & les autres ſignes communs à la ſociété, il me falloit opter entre l'ouie & la vûe ; de ces deux biens le dernier me toucheroit davantage.

Cependant, dit-on, toutes choſes égales d'ailleurs, un ſourd eſt toujours plus triſte qu'un aveugle.

Si vous appellez triſteſſe, un air abſent & étranger à la converſation, vous avez raiſon ; il n'y prend aucune part : mais en eſt-il plus affligé qu'un aveugle devant qui l'on diſpute de la beauté d'une étoffe ? je ne le crois pas, à moins qu'il ne s'imagine qu'on parle de lui, ou de ce qui l'intéreſſe ; & alors ce n'eſt plus ſimplement à un aveugle devant qui l'on diſpute d'une étoffe, qu'il le faut comparer ; mais à un aveugle à qui il importe de ſavoir ſi cette étoffe eſt belle ou laide : je veux dire que les regrets de l'un & de

l'autre ſont égaux, quand l'intérêt eſt égal de part & d'autre; mais je penſe que l'aveugle a plus d'occaſions de regretter, parce qu'on ne ſupplée point à la vûe, ni auſſi facilement, ni auſſi parfaitement qu'à l'ouie. On a vû des gens qui étant devenus ſourds à un certain âge, s'étoient fait une habitude d'entendre au ſeul mouvement de levres, tout ce qu'on leur diſoit, & même de converſer ainſi avec d'autres ſourds. *

XI. LEÇON.

Au reſte pourquoi chercher quel eſt le plus avantageux de deux biens qui le ſont peut-être également ? il ſemble que la nature l'ait décidé ainſi, puiſque ne faiſant jamais rien de ſuperflu, elle a pourtant jugé à propos de nous donner deux oreilles; comme elle nous a donné deux yeux.

L'ouie a pour objet le bruit & le ſon, dont nous avons parlé précédemment; la différence qu'il y a entre l'un & l'autre, c'eſt que le premier eſt un trémouſſement irrégulier, ou peut-être un aſſemblage de pluſieurs ſons qui font enſemble ſur l'organe une impreſſion confuſe, au lieu que le ſon proprement dit conſiſte

* *Mém. de Trév. Septemb.* 1701. p. 9. *Tranſact. Philoſoph.* n°. 312.

XI. LEÇON.

dans des vibrations régulières, homogenes, & qui se font sentir plus distinctement ; peut-être même les sons n'affectent-ils qu'une certaine partie de l'organe, & que le bruit les ébranle toutes en même temps.

L'oreille est l'organe de l'ouie ; c'est par cette partie qui paroît extérieurement en forme d'entonnoir aux deux côtés de la tête, que le son s'introduit, pour aller toucher les fibres nerveuses, où s'accomplit la sensation. Je n'entreprendrai point une description anatomique & complette de cet organe : c'est aux gens de l'art à entrer dans ce détail, qui seroit peut-être déplacé ici ; le Lecteur qui en jugera autrement, trouvera bon que je le renvoye aux ouvrages qui ont été faits exprès sur cette matiere ; & nommément à celui de M. le Cat *, qui a comparé les desseins des plus grands Maîtres avec ses propres observations. Je me contenterai donc de nommer succinctement les principales parties que la nature employe pour faire sentir les sons, & de les indiquer par des figures gravées d'après les meilleurs Anatomistes ; car mon

* *Traité des Sens, p. 275. Traité de l'Oreille, de M. du Verney.*

deſſein ſe borne à faire compendre ſeulement, par quelle méchanique nous entendons les ſons.

A B, *Fig*, 16. repréſente la partie extérieure de l'oreille, dont le fond qui eſt vers *C*, s'appelle *la Conque*. *CD* eſt le *conduit auditif* vû extérieurement; c'eſt un canal qui part de la Conque, & qui aboutit au *Timpan E*; cette membrane mince qui ſe préſente obliquement, n'eſt pas tout-à-fait plane, mais un peu concave du côté du conduit auditif; immédiatement après, en avançant vers l'oreille interne, ſont quatre oſſelets qu'on appelle, à cauſe de leur figure, *l'Os orbiculaire* 1, *l'Etrier* 2, *l'Enclume* 3, & *le Marteau*: une partie de celui-ci que l'on a nommée *le Manche* 4, aboutit au centre du timpan, & ſert à le tendre plus ou moins; la premiere cavité qui eſt ſous cette membrane, ſe nomme *la Caiſſe du Tambour*; elle eſt pleine d'air, & communique avec la bouche par un canal *Ff* qui ſe nomme *la Trompe d'Euſtache*; de ſorte que l'air du tambour communiquant toujours avec l'air extérieur, fait équilibre à celui qui remplit le conduit au-

XI. LEÇON.

ditif ; à la caiſſe du tambour répond une autre partie de l'oreille , qu'on nomme *Labyrinthe*, compoſé du *veſtibule G*, des trois canaux ſémicirculaires *H*, *I*, *K* , & du *limaçon L* , que je vais décrire ſéparément.

Le limaçon eſt un cône un peu écraſé , *Fig.* 17. enveloppé d'un conduit qui , comme un pas de vis , fait à-peu-près deux ſpires & demie, *Fig.* 18.

Ce conduit qui va toujours en s'étréciſſant , eſt diviſé dans toute ſa longueur par une cloiſon membraneuſe dont les fibres tendent à l'axe du cône qui lui ſert de noyau , *Fig.* 19. C'eſt cette partie qu'on nomme *Lame ſpirale*, & qui va toujours en s'étréciſſant comme le conduit qu'elle partage, depuis la baſe du cône juſqu'à la pointe. Ainſi les fibres qui compoſent ſa largeur , deviennent toujours de plus en plus courtes, en approchant du ſommet du cône.

Le conduit ſpiral partagé en deux par la cloiſon dont je viens de parler, a néceſſairement deux orifices *M*, *N*, dont un aboutit au veſtibule du labyrinthe, & l'autre à la caiſſe du tambour.

Enfin

XI. LEÇON.

Enfin le nerf auditif O se divise en plusieurs branches qui passent dans le vestibule, & se subdivisent en une infinité de petites fibres qui se distribuent à toutes les parties du labyrinthe : voilà à-peu-près quelle est la structure de l'oreille ; en voici maintenant les fonctions.

La conque, parce qu'elle est évasée presque en forme d'entonnoir, reçoit les rayons sonores en plus grande quantité, & leur action se transmet par le conduit auditif jusqu'à la membrane du tambour où se fait la premiere impression. Si cette membrane est lâche, les sons foibles s'y amortissent, & ne passent pas outre ; ou bien, s'ils passent, leur impression est si peu sensible, que l'ame n'y fait point attention. Voilà pourquoi, lorsque nous sommes occupés d'ailleurs, il peut se faire auprès de nous des petits bruits ou des sons médiocres qui nous échappent. Mais si le timpan est bien tendu, (& c'est ce qui arrive quand on écoute,) le moindre son se communique par cette membrane élastique à la masse d'air qui est dans la caisse du tambour ; &

XI. LEÇON.
de cet air il passe à celui qui est dans le labyrinthe, dont toutes les parties sont revêtues des petites fibres du nerf auditif.

Un trop grand bruit fatigue l'oreille & va quelquefois jusqu'à rendre sourdes pour un temps, & même pour toujours, les personnes qui s'y sont exposées : c'est qu'une impression trop forte sur cet organe, comme sur les autres, engourdit les parties qui sont délicates, ou en dérange l'économie. Après un grand bruit, les sons foibles sont à l'oreille, ce qu'est à l'œil une petite lumiere après une grande illumination.

Tout le monde sait, & les enfans mêmes n'ignorent pas qu'on entend le son bien plus fortement, quand on tient le corps sonore dans les dents, ou qu'on a la bouche ouverte dessus ; c'est qu'alors les vibrations se communiquent à l'air du tambour par la trompe d'Eustache ; & cette action, qui est comme immédiate, doit se faire sentir bien plus fortement que celle qui se transmet par le timpan : c'est un moyen de mieux entendre, que l'on voit assez souvent met-

tre en uſage par les gens qui ont l'ouie un peu dure ; ils ouvrent la bouche quand ils écoutent avec beaucoup d'attention. (*a*). XI. LEÇON.

Il ſuit de cette obſervation, que la membrane du tambour, ou le timpan, n'eſt point une partie eſſentiellement néceſſaire pour la perception des ſons, puiſqu'ils pourroient ſe tranſmettre immédiatement à l'air qui eſt dans la caiſſe ; & l'expérience a prouvé que cette conſéquence eſt juſte ; car des chiens à qui l'on avoit ôté cette membrane, ne devinrent point ſourds, auſſi-tôt après cette opération * ; mais l'expérience même a fait voir que ſans cette eſpece de barriere, les autres parties ne peuvent ſe conſerver long-temps, puiſque ces animaux, quelques ſemaines après, n'entendoient plus, comme auparavant, la voix de ceux qui les appelloient.

* *Villis, de l'ame des Bêtes, c.* 14.

(*a*) Ce que j'ai dit dans cet article, je l'ai dit d'après le plus grand nombre des Phyſiciens qui ont écrit ſur cette matiere ; néanmoins il me paroît maintenant que, pour entendre par la bouche, il ne ſuffit pas de l'ouvrir ſur le corps ſonore, mais qu'il faut appuyer les dents deſſus ou au moins les lévres.

XI. LEÇON.

On eſt parfaitement d'accord ſur l'exiſtence du timpan, ſur la place qu'il occupe, & même ſur ſes fonctions; mais on ne l'eſt pas de même, quand il s'agit de ſavoir, ſi cette eſpece de diaphragme ferme abſolument le conduit auditif, ou s'il peut s'ouvrir ſans ſortir de ſon état naturel; les uns * tiennent pour cette derniere opinion & citent l'expérience de certaines gens qui font ſortir par leurs oreilles la fumée du tabac qu'ils ont retenue dans leur bouche; les autres ſoutiennent le contraire, & s'appuyent ſur l'expérience d'un habile Anatomiſte *, qui ayant rempli de mercure l'oreille d'un ſujet mort, ne put jamais faire paſſer ce minéral de la caiſſe du tambour dans le conduit auditif. L'expérience des fumeurs doit-elle être regardée comme un effet contre nature, auquel cas elle ne prouveroit rien? ou bien la mort donne-t-elle au timpan une adhérence invincible qu'il n'auroit pas dans le ſujet vivant, ce qui rendroit l'expérience faite avec le mercure auſſi peu concluante? Tout l'embarras de cette déciſion ceſſe, quand on ſait

* *Dionis, demonſt. anatom. 8.*

* *Valſave, de aure humana, c. 2. §. 8.*

XI. LEÇON.

que la fumée ne passe point, comme on le dit, par l'oreille; & que ce prétendu fait n'est au fond qu'une supercherie, par laquelle certaines gens en imposent à ceux qui sont assez crédules pour se rendre aux premieres apparences, ou trop peu instruits pour les approfondir, comme je l'ai appris d'un de nos Anatomistes * dont les lumieres & la candeur sont très-connues, & qui m'a dit s'en être assuré par l'aveu même de plusieurs soldats des Invalides qui s'étoient vantés de rendre la fumée par les oreilles.

* M. Morand de l'Ac. des Scienc. & chargé par la Comp. de vérifier le fait.

Comme la propagation des sons se fait selon les mêmes loix que celles de la lumiere, on peut rassembler les rayons sonores, & les condenser comme ceux qui viennent d'un objet lumineux. Que l'on fasse donc un cornet de figure parabolique, *Fig.* 20. au fond duquel aboutisse un petit canal, dont on placera le bout dans la conque de l'oreille; alors tous les rayons paralleles, comme *a b*, *c d*, seront rassemblés en *f*, foyer de la parabole, & augmenteront considérablement la force du son dans le conduit auditif.

Mais comme ces instrumens acous-

XI. LEÇON.

tiques ne doivent avoir d'autre effet que de renvoyer le son à l'oreille de celui qui s'en sert, il faut empêcher qu'ils ne le transmettent autour d'eux comme le porte-voix; c'est pourquoi je voudrois qu'on les fît de métal bien poli, afin que par leur dureté & par la régularité de leur surface, la réflection des rayons fût plus complette, mais qu'on amortît leur ressort, en les couvrant par-dehors avec une peau de chagrin, ou avec quelque chose d'équivalent.

* *Traité des sens, p. 292.*

M. Le Cat *, frappé de ce que la nature a pratiqué dans l'organe de l'ouie plusieurs cavités remplies d'air, a imaginé, pour aider les personnes qui ont de la peine à entendre, un double cornet qui est représenté par la *Fig.* 21, & dont l'ouverture *CD* peut avoir 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou trois pouces de diamétre. Dans l'opinion où je suis que l'augmentation du son, par ces sortes d'instrumens, vient autant de l'immobilité de l'air, que d'une réflection bien ménagée des rayons sonores, je penserois volontiers qu'on pourroit tirer avantage de cette nouvelle invention qui n'a point encore été éprouvée.

Des ſons comparés.

CE que j'ai dit précédemment touchant la nature du ſon en général, doit faire comprendre que les corps ſonores ſont capables d'exciter en nous différentes ſenſations; non-ſeulement parce qu'étant plus denſes ou plus élaſtiques les uns que les autres, ils peuvent agir plus puiſſamment ou plus long-temps; mais encore, parce que leur reſſort étant plus ou moins tendu, doit être ſuſceptible de vibrations plus ou moins fréquentes: & en effet, tout le monde s'apperçoit que le ſon d'une cloche & celui d'une ſonnette, différent beaucoup entr'eux: & pour le peu qu'on y faſſe attention, on reconnoît aiſément qu'il y a dans cette différence quelque choſe de plus que le degré de force; car quand on ſeroit fort près de la ſonnette, & très-éloigné de la cloche, l'organe ſeroit encore affecté d'une maniere bien différente par ces deux ſons. Il en eſt de même d'une corde quand on prendroit ſoin de la pincer toujours également fort,

XI. LEÇON.

si elle est plus ou moins tendue, le son change, & l'on n'apperçoit d'autre cause de cet effet, qu'une roideur plus ou moins grande dans les parties, d'où il doit résulter un frémissement plus ou moins prompt.

Ce sont ces différentes nuances de son, qui procédent de la fréquence plus ou moins grande des vibrations dans les parties du corps sonore, que l'on appelle *Tons*, & dont la combinaison harmonieuse fait l'objet de la musique, de cet art merveilleux qui a tant de pouvoir sur l'ame & dont tant de personnes sont occupées aujourd'hui, soit par goût, soit par profession.

On distingue tous les tons en *graves* & en *aigus* : on appelle grave celui d'un corps sonore, dont les parties frémissent beaucoup plus lentement que celles d'un autre à qui on les compare, ou (ce qui est la même chose,) qui, dans un certain temps, fait bien moins de vibrations que lui. On voit par cette définition, que le ton n'est grave ou aigu que par comparaison à un autre ton; & que l'une ou l'autre de ces deux qualités peut varier autant

tant qu'il peut y avoir de différences entre les nombres de vibrations que les corps ſonores peuvent faire dans un temps donné. XI. LEÇON.

Mais quoique les tons puiſſent varier preſque à l'infini, eu égard à la comparaiſon des nombres, leurs différences ſe renferment dans des bornes beaucoup plus étroites, ſi l'on s'en tient au ſenſible ; car l'oreille la plus délicate ne diſtingue ces nuances, que quand il y a un intervalle aſſez conſidérable entre les nombres qui les produiſent. Par exemple, ſi l'on tend une corde de clavecin, de maniere qu'elle faſſe 200 vibrations dans une ſeconde, elle aura un certain ton ; ſi elle ſe trouve enſuite un peu plus tendue, & que dans un pareil temps elle faſſe 201, 202, ou 203 vibrations, elle aura ſûrement un ton plus aigu phyſiquement, mais non pas ſenſiblement, parce que le nombre des vibrations qu'elle fait en dernier lieu, n'eſt point aſſez différent du nombre de celles qu'elle fait d'abord.

Lors donc que l'on touche deux corps ſonores enſemble, comme deux cordes de clavecin ou de vielle,

XI. LEÇON.

leurs vibrations ont néceſſairement un certain rapport de nombres entr'elles, de ſorte qu'après un certain période, les deux cordes recommencent en même-temps; & c'eſt cette eſpece de réunion périodique, que l'on nomme *accord* ou *conſonance*.

Les accords ſont d'autant plus parfaits, que les vibrations rentrent ou ſe réuniſſent plus ſouvent, ou que leurs nombres, pour chaque temps, différent moins entr'eux. On appelle *uniſſon*, l'accord de deux cordes dont les vibrations ſe font une pour une; celle des deux qui fait deux vibrations contre une, donne l'*octave* au-deſſus; ſi elle en fait trois contre deux, elle donne *la quinte*; quatre contre trois, *la quarte*; cinq contre quatre, *la tierce majeure*; ſix contre cinq, *la tierce mineure*.

Mais, comme on voit, tous ces accords d'une corde avec l'autre, n'ont rien d'abſolu; le ton que je nomme octave, quinte, &c. deviendroit tout d'un coup toute autre choſe, ſi je changeois le ton de l'autre corde, qui me ſert d'objet de comparaiſon. Il en eſt de même du ſon

que je nomme grave ou aigu ; il change de dénomination ſans changer de nature, toutes les fois que le ſon auquel je le compare vient à changer.

C'eſt un inconvénient conſidérable en muſique de n'avoir pas un ton fixe & invariable, que l'on puiſſe toujours retrouver, & auquel on rapporteroit tous les autres. Cette eſpece de ſifflet dont on ſe ſert pour déterminer le ton des voix & des inſtrumens dans un concert, ou ces flûtes que l'on dit être au ton de l'Opéra, ne ſont point des moyens ſûrs pour éviter toute variation : l'expérience fait voir que tous les inſtrumens de cette eſpece, comme les autres, ne gardent pas conſtamment leur état ; mais quand ils pourroient le garder, s'ils viennent à ſe perdre ou à ſe caſſer, comment retrouver le véritable ton ?

De tous les Phyſiciens, qui ſe ſont propoſés de procurer à la muſique ce ton fixe tant déſiré, perſonne que je ſache n'a travaillé avec plus de zéle & plus de ſuccès que M. Sauveur ; quoiqu'à dire vrai, les moyens qu'il a imaginés, ne me paroiſſent point encore marqués au coin de cette ſim-

XI. LEÇON.

plicité qui annonce une invention de pratique. C'eſt dans ſes propres écrits ou dans les extraits qu'on en a faits *, qu'il faut voir quelles ont été ſes recherches à ce ſujet, & juſqu'à quel point il a réuſſi. Je me contenterai de dire ici que cet ingénieux & ſavant Académicien, pour déterminer & fixer un ſon au-deſſous duquel on prît la ſuite des tons graves, & au-deſſus, celle des tons aigus, mit à profit une remarque qu'il fit, & qu'une oreille un peu attentive peut faire, en entendant accorder deux tuyaux d'orgues. La rentrée ou la réunion de leurs vibrations ſe fait ſentir par un ſon plus fort; & le temps qui ſe paſſe d'une réunion à l'autre eſt quelquefois aſſez ſenſible pour être meſuré. On ſait, par la nature des accords, combien il faut qu'un des deux tuyaux faſſe de vibrations dans le même temps que l'autre en fait un certain nombre; que de deux tuyaux accordés à l'octave, par exemple, l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait une ſeulement. Si l'intervalle d'une rentrée à l'autre étoit aſſez ſenſible, on pourroit donc ſavoir combien de temps

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1700. p. 134.

employent celui-ci pour faire deux, celui-là pour faire une vibration. Ainsi le temps pendant lequel se font les vibrations d'un certain ton étant déterminé par l'expérience, & le nombre des vibrations qui font les autres tons pendant le même temps, étant connu d'ailleurs, M. Sauveur prend pour le son fixe, celui qui fait 100 vibrations en une seconde; & il appelle *octave-fixe-aiguë*, celle qui est au-dessus, c'est-à-dire, le son qui fait 200 vibrations en une seconde; & *octave-fixe-grave*, celle qui est au-dessous, ou le son qui fait 50 vibrations en une seconde.

M. Sauveur ayant trouvé par expérience, qu'un tuyau d'orgues d'environ 5 pieds ouvert, rendoit ce son fixe dont je viens de parler, compara cette longueur à celles de deux autres tuyaux dont l'un rendoit le son le plus grave, & l'autre le son le plus aigu que l'oreille humaine pût distinguer; & ayant examiné, par la comparaison de leurs dimensions, combien chacun pouvoit faire de vibrations dans le temps d'une seconde, il trouva que le son le plus grave que nous puissions distinguer vient d'un

XI. LEÇON.

corps sonore qui fait 12 vibrations $\frac{1}{2}$ par seconde, & que le son le plus aigu fait en pareil temps 6400 vibrations; & comme 12 $\frac{1}{2}$ est à 6400 à-peu-près dans le rapport de 1 à 512, on peut conclure que l'oreille est susceptible de 512 degrés de sensations.

Si l'on a une fois un ton fixe par le moyen des tuyaux d'orgues, on peut l'avoir pour toutes sortes d'instrumens; car une corde de viole, une flûte, un haut-bois, &c. peut se mettre à l'unisson avec le tuyau qui donnera le ton fixe.

La grandeur des vibrations ne fait rien au ton: quand le corps sonore vient d'être touché, elles sont d'abord plus étendues, & le son en est plus fort; mais quoiqu'ensuite elles deviennent plus petites, & que le son s'affoiblisse en conséquence, le ton subsiste le même jusqu'à la fin, parce que les vibrations, quoique moins grandes à la fin qu'au commencement, sont toujours de la même durée: c'est la propriété des corps à ressort. Ceci ne doit pourtant s'entendre que du son principal, de celui que toute oreille entend, dès que

le corps ſonore a été frappé; car lorſqu'on y fait plus d'attention, & à meſure que le ſon principal s'affoiblit, on diſtingue aſſez ſouvent d'autres tons, dont nous eſſayerons de rendre raiſon ci-après.

XI. LEÇON.

Une corde fait des vibrations d'autant plus fréquentes, & par conſéquent rend un ſon d'autant plus aigu, qu'elle eſt plus courte, ou moins groſſe, ou plus tendue. Si l'on veut donc en accorder deux qui ſoient de même matiere, il faut avoir égard à ces trois choſes; à leurs longueurs, à leurs groſſeurs, & à leurs degrés de tenſion.

1°. Si deux cordes également longues & groſſes ne différent que par le degré de tenſion, leurs vibrations, quant au nombre, ſont comme les racines quarrées des puiſſances ou des forces qui les tiennent tendues;

C'eſt-à-dire, que ſi elles étoient tirées par des poids, & que l'une des deux le fût par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres: comme la racine quarrée de 4 eſt 2, & que celle d'1 eſt 1; les vibrations de ces deux cordes, quant au nombre, ſeroient dans le rapport de 2 à 1: &,

XI. LEÇON.

ſuivant le même principe, les vibrations ſeroient dans le rapport de 3 à 2, ſi les poids qui tendent les cordes étoient, l'un de 9, & l'autre de 4 livres: parce que la racine quarrée de 9 eſt 3, & que celle de 4 eſt 2.

2°. Si les cordes également groſſes, également tendues, ne différent qu'en longueur, le nombre de leurs vibrations en temps égaux, eſt en raiſon inverſe de leur longueur;

C'eſt-à-dire, que celle qui eſt une fois plus courte, fait une fois plus de vibrations que l'autre, & que celle qui eſt comme 2 à 3 par rapport à l'autre, fait 3 vibrations contre 2, &c.

3°. Si les cordes ne différent qu'en groſſeur, elles font des vibrations dont les nombres ſont en raiſon réciproque des diamétres; (*a*)

C'eſt-à-dire, que ſi l'une des deux eſt une fois plus groſſe, elle fait une fois moins de vibrations que l'autre, dans un temps donné. Si les diamétres ſont entr'eux comme 3 & 2, la plus groſſe

(*a*) Ceci ne doit s'entendre que des effets ſenſibles, & non pas ſelon la rigueur mathématique: voyez-en les raiſons, *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1709. *p.* 47 *& ſuiv.*

des deux ne fait que 2 vibrations contre 3, &c.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 22. représente un instrument qu'on peut nommer *Sonometre*, parce qu'il sert à mesurer & à comparer les sons. C'est une caisse longue montée sur un pied qui est composé de deux montans & d'une traverse; la table qui est de sapin peut avoir trois pieds de longueur sur 4 pouces de largeur; & elle est percée de trois rosettes à-peu-près semblables à celle d'une guitarre ou d'un tambourin. A l'une des deux extrémités sont deux leviers angulaires, qui ressemblent à ceux dont on se sert pour les sonnettes dans les appartemens, & dont les bras forment un angle droit. Aux bras de ces leviers sont attachés d'une part deux poids *A*, *B*, que l'on peut changer; & de l'autre, deux cordes de violon que l'on tend avec les chevilles, *C*, *D*, qui sont à l'autre bout de la caisse. Ces deux cordes passent sur deux chevalets fixes *E*, *F*, qu'elles

XI. LEÇON.

touchent à peine, & sur lesquels lorsqu'elles sont tendues, on les arrête, par le moyen d'une vis qui pousse dessus une petite piece de bois. Il y a encore un autre chevalet *G*, qui glisse dans une coulisse d'un bout à l'autre de la caisse, dont le bord est divisé en pouces & en lignes; de sorte qu'en appuyant un peu le bout du doigt sur une des deux cordes, on peut la mettre en tel rapport de longueur que l'on veut avec l'autre, sans changer sensiblement son degré de tension. Quand on veut tendre les cordes dans des proportions connues, on attache des poids dont on sait la valeur, en *A* & en *B*, & l'on tourne les chevilles *C*, *D*, jusqu'à ce que les bras des leviers fassent des angles droits, tant avec les cordes sonores, qu'avec celles qui suspendent les poids.

Effets.

1°. Les deux cordes étant de même grosseur, & tendues avec des poids semblables, donnent l'unisson lorsqu'elles sont également longues; l'octave, quand l'une des deux est moitié plus courte que l'autre; la

quinte, quand elles ſont l'une d'un tiers plus courte que l'autre.

2°. Les deux cordes étant de la même longueur & de la même groſſeur, s'accordent à l'octave, quand l'une eſt tendue par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres : elles s'accordent à la quinte, quand les deux poids qui les tiennent tendues, ſont l'un de 4 & l'autre de 9 livres.

3°. Les deux cordes étant également longues, & tendues par des poids égaux, ſont d'accord à l'octave, quand l'une eſt une fois plus groſſe que l'autre; à la quinte, quand le diamétre de l'une eſt à celui de l'autre comme 3 à 2.

EXPLICATIONS.

On ſait par tout ce qui a été dit précédemment, que les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations que fait le corps ſonore, dans un temps déterminé ; & que les accords ne ſont autre choſe que les différens rapports de ces nombres entr'eux. Ainſi, puiſque je ſais que l'octave doit s'entendre, toutes les

XI. LEÇON.

fois qu'il y a deux vibrations contre une ; la quinte, quand il y en a 3 contre 2, &c. je puis donc, en toute sûreté, conclure ces rapports de nombres, par les accords que j'entends ; ainsi quand les deux cordes de mon sonometre sont à l'unisson, quelle que puisse être alors la longueur, grosseur, ou tension de chacune, il est certain que leurs vibrations sont isochrones ; c'est-à-dire, qu'elles en font une pour une, ou un même nombre en même temps : & de même, quand elles sont d'accord à l'octave, ou à la quinte, &c. je puis dire : c'est que les vibrations qu'elles font dans un temps donné, sont dans le rapport de 1 à 2, de 3 à 2, &c.

Or, on a vû, par les résultats précédens, qu'en réglant la longueur, la grosseur, & le degré de tension des cordes, comme nous avions dit * qu'il falloit faire, pour avoir certains rapports dans les nombres des vibrations, il en résulte des accords qui dépendent essentiellement de ces proportions, & qui ne vont point sans elles. Il est donc évidemment prouvé par notre expérience, que les vibra-

* P. 463. & 464.

tions ſont, comme nous l'avons dit, d'autant plus promptes que la corde ſonore eſt plus courte, plus menue ou plus tendue, & que leur fréquence ſuit les rapports que nous avons établis.

Ce que dit l'expérience à cet égard ſe trouve parfaitement d'accord avec le raiſonnement. Car puiſque tous les corps à reſſort ont des vibrations d'autant plus promptes, que leurs parties ſont plus roides, une corde qui eſt plus tendue, & dont les parties ſont plus tirées, doit faire des vibrations plus promptes, & rendre par conſéquent un ſon plus aigu : & au contraire, celle qui l'eſt moins, & dont les parties ſont plus lâches, doit avoir des vibrations moins fréquentes, ce qui lui donne un ſon plus grave. Or une corde eſt moins tendue qu'une autre, quoiqu'elle ſoit tirée par un même degré de force, ſi elle eſt plus longue ou plus groſſe, parce qu'alors cette force qui la tend agit ſur un plus grand nombre de parties, qui partagent ſon effort ; & par conſéquent chacune d'elles, conſidérée comme un petit reſſort ſe trouve moins tendue

XI. Leçon. qu'elle ne le feroit, fi elle faifoit partie d'une corde, ou plus fine ou plus courte.

Applications.

L'expérience précédente nous apprend pourquoi dans tous les inftrumens de mufique, la partie fonore, c'eft-à-dire, celle qu'on touche pour exciter les fons, eft toujours difpofée de maniere qu'on en peut changer facilement ou les dimenfions, ou le degré de tenfion. Car c'eft par ces deux moyens qu'ils font propres à exprimer la compofition du Muficien. Les chanterelles d'une vielle, par exemple, montées à l'uniffon, figurent les airs, parce que les touches que l'on pouffe les accourciffent plus ou moins pour former les tons. Au violon, ce font les doigts qui font l'office de touches en ferrant les cordes fur les divifions du manche. Au clavecin, où chaque corde eft fixée à un feul ton, l'étendue du jeu vient d'un plus grand nombre de cordes, & de leurs différentes longueurs & groffeurs.

Dans un inftrument à vent, c'eft

encore en changeant les dimenſions du corps ſonore, que l'on acquiert une ſuite de tons plus graves ou plus aigus les uns que les autres. Une flûte ou un flageolet contient une colonne d'air, qui eſt, à proprement parler, la partie ſonore de cet inſtrument, comme je l'ai déja dit ci-deſſus. Mais cette colonne d'air change en quelque façon de longueur, ſelon le nombre des trous que l'on débouche ou que l'on tient fermés : puiſque chacun de ces trous faiſant communiquer l'air extérieur avec celui du tuyau, empêche que ce dernier ne reçoive dans toute ſon étendue, ou d'une maniere complette, les vibrations qui viennent de l'embouchure. *

* *Voyez l'explicat. de M. Euler. Tent. novum theor. musicæ.*

L'organe de la voix pourroit être comparé aux inſtrumens à vent, pourvû néanmoins qu'on n'y cherchât point une ſimilitude fort exacte ; car nous ne voyons pas que l'art en ait encore produit aucun qui imite d'aſſez près la nature. La *trachée-artere* *G g*, *H h*, *Fig.* 23. ce canal par où l'air qu'on reſpire entre dans les poulmons, eſt terminé vers la bouche par une petite fente ovale *k*, qu'on

XI. LEÇON.

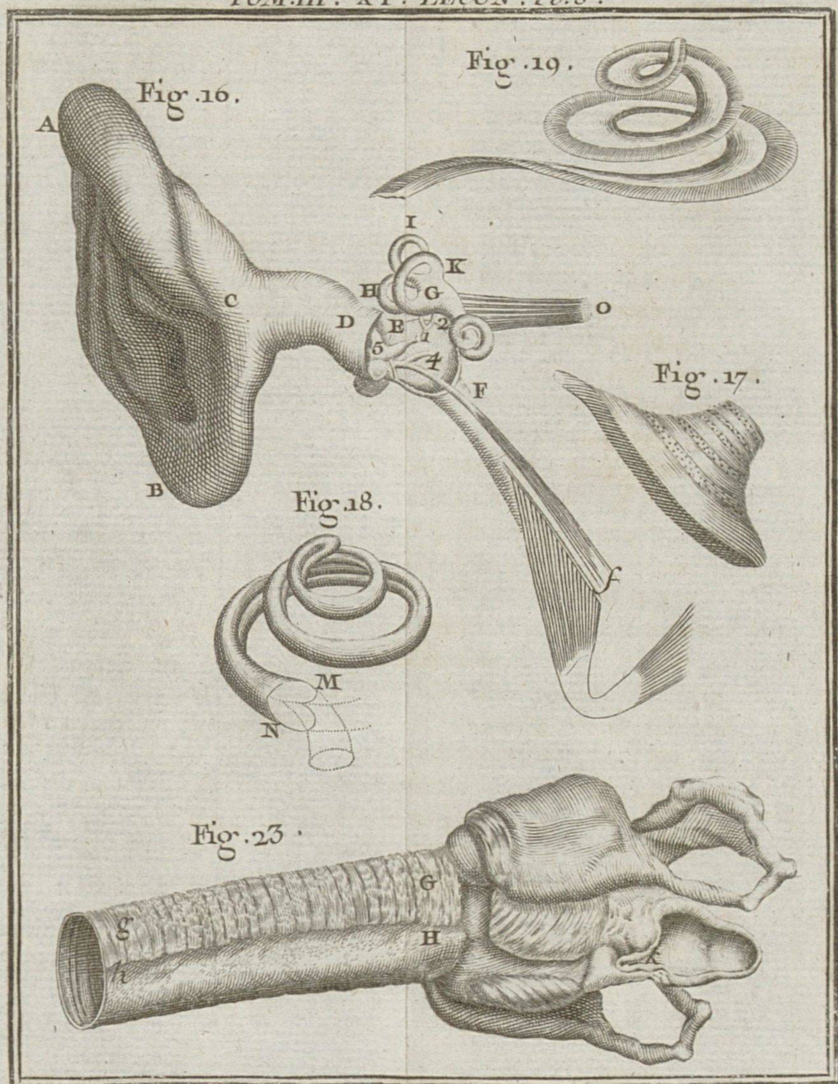
nomme *la Glotte*. La ressemblance qu'elle a avec une flûte, avoit fait croire anciennement, que la voix se formoit dans cette partie comme le son dans ces sortes d'instrumens. Mais M. Dodard considérant que le son d'une flûte est excité par l'air qui entre dans le tuyau, au lieu que la voix l'est communément par celui qui sort de la trachée, se détermina à croire, avec toute sorte de vraisemblance, que la glotte est l'organe principal, & que le canal qu'elle termine ne fait que l'office de porte-vent.

Selon le systême de cet habile Physicien *, l'air sortant avec plus ou moins de vîtesse par la glotte, qui a pour cet effet la faculté de se dilater & de se rétrécir, forme des sons plus ou moins graves. Le son formé de cette maniere va retentir dans la cavité de la bouche, & dans celle des narines; & en sortant il s'articule par le mouvement de la langue & des lévres. Ainsi la trachée fournit l'air, la glotte forme la voix, & en régle le ton, la langue & les lévres en font des paroles.

* *Mém. de l'Acad. des Sc.* 1700, p. 244.

Voilà, dit-on, comme les choses

se


Fig. 16.
Fig. 19.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 23.
A
B
C
D
E
F
G
H
I
K
O
1
2
4
5
f
M
N
G
H
g
h

ſe paſſent pour l'ordinaire : mais on peut cependant parler & chanter en aſpirant ; & il y a des gens qui, par habitude, ou par une certaine diſpoſition d'organes, font entendre une voix ſourde & étouffée qui ſe forme par l'air qui entre dans la trachée : on les appelle *Ventriloques* ; c'eſt-à-dire, qui parlent du ventre. On les regardoit autrefois comme magiciens & comme poſſédés du démon ; il ſe trouve même de bons auteurs * à qui il paroît que cette façon de parler en a impoſé auſſi-bien qu'au peuple.

* *Liranus, in c. 18. Deut. Caſſerius, de vocis organ.*

Si l'on doit attribuer les différens tons de la voix ou du chant aux différentes ouvertures de la glotte, il faut que ſon petit diamétre qui n'a au plus qu'une ligne, puiſſe changer 9632 fois de longueur, ſelon le calcul de M. Dodard, pour fournir à toutes les différentes nuances de tons dont la voix humaine eſt ſuſceptible. Une telle diviſion peut-elle avoir lieu dans une ſi petite étendue ? c'eſt ce qu'on a peine à concevoir. La glotte feroit-elle donc l'office d'une anche de haut-bois ou de muſette, qui, comme l'on ſait, n'eſt chargée que

XI. LEÇON.

de produire le ſon, & non pas les tons; & le canal de la bouche qui s'allonge, ſe rétrécit, & ſe dilate ſuivant la qualité des tons, feroit-il celui d'un chalumeau qui contient plus ou moins d'air, & qui devient capable par-là d'un ſon plus ou moins grave? ou bien ces deux parties concourroient-elles enſemble à la formation des tons, l'une comme une anche qui deviendroit plus ou moins grande, plus ou moins élaſtique, l'autre comme un tuyau qui changeroit de dimenſion?

M. Ferrein, Médecin, a répandu un grand jour ſur cette queſtion, en prouvant, par des expériences auſſi déciſives qu'elles ſont ingénieuſes & délicates, que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre à la maniere d'une anche; mais que chacune d'elles frottée par l'air qui vient des poulmons, réſonne comme une corde ſur laquelle on traîne un archet. Ses obſervations lui ont fait connoître, que les bords de ces deux lévres ſont des cordons tendineux attachés de part & d'autre à des cartilages qui ſervent à les tendre

plus ou moins : il trouve dans ces différens degrés de tenſion dont ces parties ſont ſuſceptibles, une explication naturelle de tous les tons dont la voix humaine eſt capable; car on ſait en général, qu'une corde plus ou moins tendue rend un ſon plus ou moins aigu.

Mais comment M. Ferrein a-t-il pu ſavoir que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre ; que le ſeul rétréciſſement de cette partie ne ſuffit pas pour faire monter la voix des tons graves aux tons aigus ; & que l'air lancé des poulmons par la trachée-artere donne un mouvement de vibrations à ces cordons tendineux, qu'il a nommés pour cela *Cordes vocales* ? Ne faudroit-il pas avoir vû l'action même de ces parties pour juger de la maniere dont elle ſe fait ? Et comment porter la vûe ſur un méchaniſme que la nature n'a point mis à la portée de nos yeux ?

L'ingénieux auteur de ces découvertes, ne pouvant point tenter ces expériences ſur des ſujets vivans, imagina de rendre la voix aux morts. Il adapta un ſoufflet à des trachées

XI. LEÇON.

toutes fraîches ; l'air qu'il fit passer avec précipitation par la glotte rendit des sons, & ses conjectures devinrent des connoissances. *Voyez les Mém. de l'Académ. des Sc. année* 1741. *p.* 409.

Quand une fois la voix est formée, & que son ton est réglé, il faut, pour être agréable, qu'elle sorte & par la bouche & par le nez ; elle est tout-à-fait différente de ce qu'elle a coutume d'être, lorsqu'elle ne résonne que dans l'une de ces deux cavités ; on n'aime point à entendre quelqu'un qui parle ou qui chante ayant les narines bouchées : on dit communément qu'il parle du nez ; expression tout-à-fait impropre, comme on voit, puisque c'est justement quand on n'en parle point, qu'on s'attire ce reproche.

On conçoit, sans aucune difficulté, comment deux corps sonores exécutent séparément leurs vibrations, comment l'un des deux, par exemple, en acheve 4 pendant que l'autre n'en fait que deux ou trois, parce que la fréquence de ces vibrations dépend d'un certain degré de ressort que chacun posséde séparément. Mais com-

ment eſt-ce que deux tons différens ſubſiſtent en même-temps dans le même air, ſi les tons ne ſont dans l'air, que ce qu'ils ſont dans le corps ſonore, une fréquence déterminée de vibrations ? Comment la même maſſe d'air peut-elle rendre diſtinctement & en même-temps les ſons de deux cordes qui ſont à l'octave l'une de l'autre, ſi celle-ci exige 100 vibrations, & celle-là 200 par ſeconde ?

Ce n'eſt encore là que la moitié de la difficulté ; car quand bien même ces deux mouvemens pourroient ſe communiquer & ſe conſerver ſans confuſion dans le même air, il reſte encore à ſavoir par quel moyen l'organe qui reçoit en même-temps les deux impreſſions, n'éprouve point une ſenſation mixte ou compoſée de l'une & de l'autre, comme l'œil voit du verd, quand il eſt frappé en même-temps par deux rayons, dont l'un eſt jaune & l'autre bleu.

On ne s'eſt jamais trop mis en peine de répondre à la derniere de ces deux queſtions : quant à le premiere, on a prétendu le faire, en comparant le mouvement de l'air qui tranſmet

XI. LEÇON.

les ſons aux ondulations circulaires qu'on fait naître dans une eau tranquille, lorſqu'on y jette des pierres. Car de même, dit-on, que ces ondulations s'entre-coupent ſans ſe confondre, & s'étendent ſéparément juſqu'au bord du baſſin, de la même maniere auſſi l'air ſe charge de différens tons enſemble, & les tranſmet ſans confuſion juſqu'à l'oreille.

Mais, outre que ce n'eſt point expliquer un phénoméne que de le comparer à un autre ; cette comparaiſon même eſt défectueuſe, & l'on voit évanouir preſque toute ſimilitude, quand on fait attention à la nature des mouvemens de part & d'autre.

Lorſqu'une pierre tombe dans l'eau, elle abaiſſe la partie du fluide qui ſe trouve ſous elle, & en même-temps elle éléve les parties voiſines; chacune de ces parties ſoulevées retombe avec accélération plus bas que ſon niveau, & fait monter celle qui eſt immédiatement après, ce qui continue juſqu'à ce que tout ait repris ſon équilibre. Ces balancemens ſe faiſant dans une infinité de rayons qui partent d'un centre commun, repréſen-

tent à l'oeil ces ondulations circulaires dont il s'agit, qui se ralentissent à mesure qu'elles s'étendent, & qui deviennent d'autant plus lentes qu'elles sont plus foibles, soit par la cause qui les a fait naître, soit par le trajet qu'elles ont déja fait. Mais le mouvement du son dans l'air est toute autre chose; ce sont les vibrations d'un fluide élastique qui se transmettent avec une vîtesse uniforme, & qui ne deviennent ni plus promptes ni plus lentes, quand leur grandeur vient à varier.

D'ailleurs quand les ondulations de l'eau s'entrecoupent, on ne peut nier qu'à l'endroit du choc, le mouvement ne se compose des masses & des vîtesses des parties qui se rencontrent, & qu'un corps placé à cette intersection ne dût recevoir le mouvement composé. Il n'en est pas de même de deux sons qui agissent sur le même organe; chacun fait son impression comme s'il étoit seul, & l'oreille les distingue par deux sensations différentes, quoique simultanées. Ainsi la comparaison des ondes n'explique rien, & laisse subsister

en leur entier, les deux difficultés que j'ai exposées.

XI. Leçon.

M. de Mairan, après avoir donné des preuves évidentes de cette disparité, propose sur la propagation des sons un système si ample, mais en même-temps si heureusement imaginé, qu'on oublie bien-tôt que c'est une hypothese, quand on l'applique aux phénomenes ; il a cela de commun avec celui des couleurs, comme son auteur ressemble à Newton par bien des endroits.

S'il étoit question de décider, si les molécules qui composent la masse de l'air sont toutes égales entr'elles, ou s'il y en a de plus petites les unes que les autres à toutes sortes de degrés, & qu'il fallût adopter l'une de ces deux suppositions, quel parti faudroit-il prendre ? Lequel des deux paroîtroit le plus vraisemblable ? Comme ces molécules sont des assemblages fortuits des parties plus subtiles, qui se joignent & se désunissent par mille causes différentes, ne seroit-on pas porté à croire qu'elles différent de grandeur à l'infini, plutôt que de supposer gratuitement, qu'elles se ressemblent

ressemblent toutes parfaitement?

XI. Leçon.

Cette pensée sur laquelle est fondé tout le systême de M. de Mairan, est la seule qui ne soit que vraisemblable; toutes les autres sont des conséquences si nécessaires de ce principe, (si une fois on l'admet,) qu'on ne peut point s'y refuser.

Si les molécules de l'air sont de différentes grandeurs, elles doivent différer aussi par leurs degrés de ressort, comme une même lame d'acier feroit des ressorts plus roides les uns que les autres, si elle étoit divisée en portions inégales. Par-tout où l'on place un corps sonore, il doit donc trouver dans la masse commune, des particules d'air dont le ressort est analogue au sien, & capables par conséquent de recevoir, de conserver, & de transmettre ses vibrations. Ainsi deux cordes de differens tons se font entendre par la même masse d'air, mais par différentes parties de cette masse. Suivant cette explication, on conçoit facilement comment les tons ne se confondent point dans le fluide qui les transmet; car de cette maniere, ce fluide, eû égard à ses différentes parties, peut

se prêter à des vibrations plus fréquentes les unes que les autres.

XI. LEÇON.

Quant à l'impreſſion des ſons ſur l'organe, il faut ſe ſouvenir que la lame ſpirale, qu'on doit regarder comme la partie principale, eſt un aſſemblage de fibres qui vont toujours en diminuant de longueur, depuis la baſe juſqu'à la pointe du limaçon, à-peu-près comme les cordes d'un pſaltérion ou d'un clavecin ; chacune a une élaſticité proportionnelle à ſa longueur, ce qui la rend propre à être ébranlée par des vibrations d'une certaine fréquence ſeulement. Ainſi, quand deux tons parviennent à l'organe en même-temps, chacun d'eux fait ſon impreſſion ſur la fibre dont le reſſort eſt analogue à la fréquence de ſes vibrations ; & ces deux ſenſations ſéparées font naître deux idées diſtinctes : en un mot, il arrive aux fibres de la lame ſpirale ce qu'on remarque aux cordes d'un clavecin, ou à tout autre corps ſonore dont on prend le ton ; ſi l'on touche une corde, on fait réſonner celle qui eſt à l'uniſſon, non-ſeulement ſur le même inſtrument, mais même ſur un autre qui

feroit placé à côté ; si l'on parle à voix haute dans un magasin de verreries, dans une boutique de Chaudronnier, dans une office où il y a beaucoup de vaisselle creuse, on entend toujours résonner quelque piece, tandis que les autres restent en silence ; & si l'on change de ton, c'est une autre piece qui répond.

XI. Leçon.

Mais, dira-t-on, comment se peut-il faire qu'une corde que l'on met en jeu, choisisse précisément les molécules d'air qui lui conviennent : & que l'air intérieur de l'oreille, qui reçoit son mouvement à travers la membrane du tambour, attaque avec un pareil choix les fibres qui ne sont propres à sentir qu'un certain son ?

Cette corde ne choisit point en effet, & l'air de l'oreille frappe indifféremment toute la lame spiral ; mais les effets sont les mêmes que s'il y avoit du choix : car quoique plusieurs corps qui ont différens degrés de ressort, commencent leurs vibrations en même-temps, si la cause qui les entretient est fixée à un certain degré de fréquence, ces vibrations ne peuvent continuer que dans ceux dont

XI. LEÇON.

le reſſort eſt analogue à cette fréquence ; car ceux qui ſeroient de nature à faire, par exemple, une vibration & demie contre une, ne ſe trouveroient point à temps comme les autres, pour recevoir la ſeconde impulſion ; & leur mouvement devroit ſe rallentir ou ceſſer. Le corps ſonore agit donc d'abord ſur toutes les molécules d'air qui l'entourent ; mais il ne continue efficacement ſon action que ſur celles qui ſont propres à ſe mouvoir préciſément comme lui. C'eſt la même choſe pour les fibres de la lame ſpirale : & comme nos ſenſations ne s'accompliſſent que par un ébranlement d'une certaine durée, la premiere ſecouſſe qui attaque toute la partie indiſtinctement, eſt déja paſſée, lorſque l'ame s'apperçoit de l'impreſſion qui continue, ſur les fibres qui ſont propres à cette eſpece de mouvement.

Il ne faut pas croire cependant, qu'une corde que l'on pince, ne mette & n'entretienne abſolument en jeu que les particules d'air qui ont une analogie préciſe avec ſon reſſort, elle agit auſſi ſur celles qui ſont *harmo-*

niques; c'eſt-à-dire, dont les vibrations recommencent avec les ſiennes après un certain nombre, & elle agit plus fortement ſur celles qui ſont plus harmoniques ou plus prochainement rentrantes. La même corde fait donc réſonner d'abord & beaucoup plus fortement que les autres, les particules d'air qui ſont propres à faire autant de vibrations qu'elle, & c'eſt ce qui fait le ton principal; enſuite, & avec moins de force, celles qui ne font qu'une vibration contre deux; après ces dernieres, & encore plus foiblement, celles qui ne font que deux vibrations contre trois, &c. de ſorte qu'on peut dire qu'un ſeul & même corps ſonore fait toujours un petit concert: à la vérité, ces ſons harmoniques ſont couverts par le ſon principal; mais quand celui-ci vient à s'affoiblir, une oreille un peu délicate n'a pas de peine à les diſtinguer.

On pourroit demander ici, 1ment, pourquoi nous n'entendons qu'une fois le même ſon, quoique nous ayons deux oreilles auſſi ſenſibles l'une que l'autre: 2ment, par quelle raiſon, parmi tant de différens tons, il y en

a qui ſe font mieux entendre que d'autres à certaines gens qui ont l'ouie dure: 3ment, comment les bruits ou les ſons d'une certaine eſpece, ou d'une certaine force, nous remuent les entrailles, nous font du plaiſir ou de la peine.

XI. Leçon.

L'unité de ſenſation, quoique produite par deux impreſſions diſtinctes, vient ſans doute de ce que le ſon attaque des parties parfaitement pareilles, & qui ont un point de réunion commun dans le cerveau; & il eſt à préſumer qu'on n'entendroit point de l'une des deux oreilles le ſon qui frapperoit d'un côté la 4e. fibre de la lame ſpirale, par exemple, & de l'autre la 6e. de la membrane du même nom. Ce n'eſt point le ſeul exemple qu'il y ait dans la nature, de deux organes ſemblables qui ne repréſentent qu'une fois leur objet, quoiqu'ils agiſſent également. Ordinairement nous ne voyons point double, quoiqu'il ſoit conſtant que l'image ſe peint également dans les deux yeux, & c'eſt par une raiſon aſſez ſemblable à celle que je viens d'expoſer, & que je détaillerai en parlant de la viſion.

L'efficacité de certains ſons préfé-

rablement à d'autres qui ſont même quelquefois plus forts, pourroît être attribuée à quelque vice de la lame ſpirale qui ne l'occuperoit pas toute entiere. Si, par exemple, les deux extrémités de cette partie étoient devenues moins ſenſibles que le milieu, par quelque accident que ce pût être, la perſonne qui auroit cette maladie n'entendroit facilement que les tons mitoyens entre les plus graves & les plus aigus; & dans la quantité de monde qu'elle verroit, il ſe trouveroit infailliblement quelqu'un dont le ton de la voix ſe porteroit à cette partie ſaine, & qui ſe feroit entendre ſans parler plus haut que de coutume.

Enfin les mouvemens que nous reſſentons au-dedans de nous-mêmes, lorſque nous entendons des ſons ou des bruits d'une certaine eſpece, s'expliquent encore avec facilité, (ſi l'on ne cherche que la cauſe générale,) par différentes impreſſions qui ſe font ſur le genre nerveux, qui s'étend à toutes les parties de notre corps. Car les nerfs ſont comme des cordes élaſtiques différemment tendues, plus groſſes & plus longues les unes que

XI. LEÇON.

les autres. Or parmi toutes ces eſpéces de trémouſſemens que les corps ſonores peuvent imprimer à l'air qui nous touche de toutes parts ; il eſt preſqu'impoſſible qu'il n'y en ait quelqu'une dont les fibres nerveuſes de certaines parties ne ſoient ſuſceptibles. Lorſque l'impreſſion eſt douce & modérée, nous la reſſentons avec plaiſir ; mais quand elle eſt trop forte, qu'elle tend à détruire ou à déranger l'économie des parties, l'ame qui veille à la conſervation du corps qu'elle anime, la déſapprouve, s'inquiéte ; & c'eſt ce qu'on nomme *déplaiſir* ou *douleur*.

Voilà en gros comment les ſons, ſelon leur eſpece, excitent nos paſſions : certains airs inſpirent la molleſſe & l'amour de la volupté ; d'autres la hardieſſe & le courage ; ceux-ci la triſteſſe, ceux-là la gayeté, &c. mais s'il falloit déſigner les cauſes prochaines, & dire déterminément pourquoi telle muſique affecte de telle maniere, l'entrepriſe, je crois, ſeroit téméraire ; il faudroit connoître plus à fond ce que nous ſommes, & la liaiſon qu'il y a entre nos différentes facultés.

L'histoire de la Tarentule, si elle est vraie, (*a*) est un exemple fort singulier des effets de la musique sur le corps humain : la piqûre de cet insecte, qui est une grosse espece d'araignée assez commune en Italie, envenime, dit-on, le sang, & cause des accidens très-fâcheux, qui vont quelquefois jusqu'à la mort. Quand on s'apperçoit que quelqu'un a cette maladie, on essaye en sa présence différent airs, & différens instrumens, jusqu'à ce qu'on ait trouvé celui qui convient pour la guérison ; on s'en apperçoit à certains gestes & à certains mouvemens cadensés par lesquels le malade s'agite : on dit alors qu'il danse, peut-être aussi improprement que les Anciens disoient qu'on meurt en riant quand on a mangé de la ciguë, à cause de quelques grimaces qu'ils voyoient faire en expirant, à ces sortes d'empoisonnés. Quoi qu'il en soit, ces agitations & ces sauts excitent ordinaire-

(*a*) Depuis la premiere édition de ce volume j'ai eu occasion de voir M. Serrao, savant Médecin de Naples, qui m'a inspiré beaucoup de défiance sur tout ce que l'on raconte de la Tarentule. Voyez son Ouvrage *della Tarantola.*

XI. LEÇON.

rement une transpiration salutaire, qu'on a soin de réitérer de temps en temps par le même moyen, jusqu'à ce que les symptômes cessant, annoncent que tout le venin est dissipé.

Ce n'est pas seulement dans cette maladie que la musique peut avoir de bons effets; on a vû des gens attaqués de fievres chaudes, être touchés d'un air de violon, se lever, sauter, suer de fatigue, & être guéris*.

* *Hist. de l'Acad. des Sc. 1703. page 22.*

Enfin on attribue aussi au bruit du tonnerre nombre d'effets merveilleux, & dont plusieurs semblent avoir de la réalité; mais est-ce le trémoussement seul que ce météore excite dans l'air qui en est la cause? ou bien doit-on s'en prendre aux exhalaisons qui regnent très-communément dans les tems d'orage? c'est ce qu'il n'est pas facile de décider.

Des Vents.

Le vent n'est autre chose qu'un air agité, une portion de l'atmosphere qui se meut comme un courant avec une certaine vîtesse & avec une direction déterminée.

Ce météore, eu égard à sa direction, prend différens noms selon les différens points de l'horizon d'où il vient. On appelle vent de Nord, de Sud, d'Est ou d'Ouest, celui qui souffle de l'un de ces quatre points cardinaux. Vent de Nord-Est, de Sud-Ouest, &c. celui qui tient le milieu entre le Nord & l'Est, entre le Sud & l'Ouest, &c. vent de Nord-Nord-Est, de Sud-Sud-Ouest, &c. celui qui tient une fois plus du Nord que de l'Est, une fois plus du Sud que de l'Ouest, &c. Communément cette division de vents va jusqu'à trente-deux. *Voyez la Fig.* 24. elle pourroit aller plus loin, s'il étoit possible d'observer toutes leurs variations.

On peut distinguer principalement trois sortes de vents : les uns qu'on appelle *généraux* ou *constans*, parce qu'ils soufflent sans cesse dans une certaine partie de l'atmosphere; tels sont ceux qu'on nomme *allisés*, & qui régnent continuellement entre les deux tropiques, & à quelque distance aux environs : les autres, qui sont *périodiques*, qui commencent & finissent toujours dans certains temps de l'année,

XI. LEÇON.

ou à certaines heures du jour, comme les *mouſſons* qui ſont Sud-Eſt, depuis Octobre juſqu'en Mai, & Nord-Oueſt depuis Mai juſqu'en Octobre entre la côte de Zanguebar & l'Iſle de Madagaſcar; ou bien le *vent de terre* & le *vent de mer* qui s'élévent toujours, celui-ci le matin & l'autre le ſoir. D'autres enfin qui ſont *variables*, tant pour leur direction, que pour leur vîteſſe & pour leur durée.

L'hiſtoire des vents eſt aſſez paſſablement connue, par les obſervations de pluſieurs Phyſiciens qui ont voyagé, ou qui ſe ſont appliqués dans leur pays pendant nombre d'années à la connoiſſance de ce météore. M. Muſchenbroek en a fait une diſſertation fort curieuſe *, où il a fait entrer non-ſeulement ce qu'il a obſervé lui-même, mais encore tout ce qu'il a pû recueillir des écrits de MM. Halley, Derham, &c. ſon ouvrage ſe trouve par-tout, j'y renvoye le lecteur. Mais il s'en faut bien que nous ſoyons autant inſtruits touchant les cauſes; j'entends les plus éloignées, celles qui occaſionnent les premiers mouvemens dans l'atmoſphere: car on ſait

* *Eſſais de Phyſ. tome* 2. *p.* 878.
Voyage de Dampier, t. 2.

en général que les vents viennent immédiatement d'un défaut d'équilibre dans l'air; parce que toutes les fois que certaines portions de l'atmoſphere deviennent plus chargées, plus denſes, plus élevées ou plus preſſées que les autres, étant alors plus peſantes, elles doivent s'échapper, s'écouler, par où il y a moins de réſiſtance, & pouſſer devant elles les autres parties qui ſont plus foibles, à-peu-près comme l'eau d'un canal, ſoulevée dans un endroit par une pierre qu'on y jette, ſe meut par ondes d'un bout à l'autre; mais qui eſt-ce qui a jetté la pierre, quand nous voyons l'atmoſphere s'agiter? Voilà ce qu'on ne ſait que fort imparfaitement. *

** Voyez les Oeuvres de Mariotte, p.* 340.

Les Phyſiciens qui ont raiſonné ſur cette matiere, conviennent tous que les vents peuvent être occaſionnés par pluſieurs cauſes différentes: le froid & le chaud qui ne régnent que dans une portion de l'atmoſphere y changent la denſité de l'air, & par conſéquent ſon volume, ſoit en plus, ſoit en moins; & alors les parties voiſines ſont pouſſées plus loin, ou bien elles ſe rapprochent davan-

XI. Leçon.

tage. Si la cauſe qui raréfie l'air eſt réglée & continuelle, on conçoit bien que cette régularité influe ſur le vent qu'elle produit ; ainſi c'eſt avec vraiſemblance qu'on attribue les vents qui régnent de l'Eſt à l'Oueſt dans la Zone torride, au mouvement journalier de la terre : car cette portion de l'atmoſphere qui eſt renfermée entre les deux tropiques, préſentant ſucceſſivement toutes ſes parties au ſoleil, ſouffre par la chaleur de cet aſtre des raréfactions qui changent continuellement, & avec régularité, l'équilibre de l'air ; & comme le mouvement apparent du ſoleil s'étend en ſix mois de l'un à l'autre tropique, ces vents généraux doivent ſouffrir quelques variations périodiques, & relatives aux différens aſpects du ſoleil, comme on l'obſerve effectivement. Des exhalaiſons qui s'amaſſent & qui fermentent enſemble dans la moyenne région de l'air, peuvent encore occaſionner des mouvemens dans l'atmoſphere ; c'eſt la penſée de M. Homberg & de quelques autres ſavans : & ſi les vents peuvent naître

de cette cauſe, comme il eſt probable, on ne doit point être ſurpris qu'ils soufflent par ſecouſſes & par bouffées, puiſque les fermentations auſquelles on les attribue, ne peuvent être que des exploſions ſubites & intermittantes.

Ces fermentations arrivent très-fréquemment dans les grottes ſouterreines, par le mêlange des matieres graſſes, ſulfureuſes & ſalines qui s'y trouvent; auſſi pluſieurs Auteurs ont-ils attribué les vents accidentels à ces ſortes d'éruptions vaporeuſes. Connor rapporte * qu'étant allé viſiter les mines de ſel de Cracowie, il avoit appris des Ouvriers & du maître même, que des recoins & des ſinuoſités de la miniere, il s'éléve quelquefois une ſi grande tempête, qu'elle renverſe ceux qui travaillent, & emporte leurs cabannes: Gilbert, Gaſſendi, Scheucher, &c. font mention d'une grande quantité de cavernes de cette eſpece, d'où il ſort quelquefois des vents impétueux, qui prenant leur naiſſance ſous terre, ſe répandent & continuent quelque temps dans l'atmoſphere.

* *Diſſert. Medico-phyſ. Art. III. p. 33.*

XI. LEÇON.

On cite encore l'abaissement des nuages, leurs jonctions, & les grosses pluies, comme autant de causes qui font naître, ou qui augmentent le vent; & en effet une nuée est souvent prête à fondre par un temps calme, lorsqu'il s'éléve tout-à-coup un vent très-impétueux; la nuée presse l'air entr'elle & la terre, & l'oblige à s'écouler promptement.

Enfin, s'il est permis de hazarder des conjectures après ces probabilités, ne pourroit-on pas encore attribuer l'origine du vent à la grande quantité d'air qui se dégage des mixtes, en certains lieux & en certaines saisons? car nous avons fait voir à la fin de la Leçon précédente, que cet air, lorsqu'il est dégagé, tient beaucoup plus de place dans l'atmosphere, qu'il n'en occupoit dans les matieres dont il faisoit partie. Or en automne, par exemple, s'il fait un temps humide & chaud qui procure une prompte & abondante putréfaction des plantes & des feuilles qui sont tombées des arbres, l'atmosphere doit s'enfler au-dessus des endroits où ces effets arrivent; elle doit refluer

fluer ſur les parties voiſines ; celles-ci ſur d'autres, & peut-être aſſez ſenſiblement, pour faire ce qu'on nomme du vent. XI. LEÇON.

On pourroit pouſſer cette idée plus loin, en la prenant par le côté oppoſé ; s'il étoit vrai que la décompoſition des mixtes pût rendre aſſez promptement une quantité d'air capable d'interrompre l'équilibre de l'atmoſphere, on pourroit penſer auſſi qu'au printemps & dans les endroits où la nature travaille le plus à toutes ſes productions, il doit s'abſorber beaucoup d'air, & qu'il peut ſe trouver telles circonſtances, où l'équilibre de l'atmoſphere en pourroit être altéré. Mais ne nous livrons point avec trop de confiance à une imagination : qui n'eſt rien moins que fondée en preuves ſolides.

Pluſieurs Phyſiciens ont eſſayé de meſurer la vîteſſe des vents, en lui donnant à emporter des petites plumes & d'autres corps légers ; & en examinant combien il leur faiſoit faire de chemin dans un temps déterminé. Mais quoique ces ſortes d'expériences paroiſſent très-ſimples & d'une

XI. Leçon.

extrême facilité ; ceux qui les ont faites, sont si peu d'accord entr'eux sur les résultats, qu'on n'en peut rien conclure de certain. M. Mariotte conclut la vîtesse du vent le plus impétueux de 32 pieds par seconde, & M. Derham la trouve de 66 pieds d'Angleterre en pareil temps, c'est-à-dire, environ une fois plus grande; d'où peut venir cette différence ? c'est que ces deux Savans n'avoient point de régle pour juger précisément, quel est le vent le plus impétueux ; & apparemment le premier a pris pour le plus fort de tous, un vent qui pouvoit l'être une fois plus.

Les girouettes ordinaires, comme on sait, enseignent la direction du vent : mais elles ne l'enseignent qu'à ceux qui peuvent porter la vûe au haut des édifices où elles sont placées, & qui se sont orientés, c'est-à-dire, qui connoissent les points principaux de l'horison du lieu. Pour rendre l'usage de cet instrument plus commode, au lieu de faire tourner la girouette sur sa tige, on l'y attache de maniere qu'elle la fasse tourner avec elle ; & à l'autre bout de cette tige,

qui répond, si l'on veut, dans un appartement, on pratique un pignon qui méne une roue dentée, & cette roue une aiguille qui marque les vents sur un cadran. *Voyez les Récréations Mathématiques d'Ozanam. Tom. 2. pag.* 45. *Edit.* 1694.

La force du vent, comme celle des autres corps, dépend de sa vîtesse & de sa masse, c'est-à-dire, de la quantité d'air qui se meut ; ainsi le même vent fait d'autant plus d'effort que l'obstacle sur lequel il agit, lui présente directement plus de surface ; c'est pour cette raison qu'on déploye plus ou moins les voiles d'un vaisseau, qu'on habille plus ou moins les aîles d'un moulin à vent, & que les arbres sont moins sujets l'hyver que l'été, à être rompus par la violence des vents, parce que dans la premiere de ces deux saisons, n'étant point garnis de feuilles, ils leur donnent moins de prise.

On peut connoître la force relative des vents par le moyen d'un petit moulin, dont l'arbre est garni d'une fusée conique, sur laquelle on enveloppe une corde qui tient un poids

ſuſpendu; car en expoſant cette machine à l'air libre, & dans une direction convenable, le petit moulin tourne d'abord, & s'arrête enſuite, quand le poids qui tire ſur la fuſée, lui fait équilibre; or comme les rayons de cette fuſée ſont connus, ou faciles à connoître, on peut aiſément comparer les forces qui ont fait équilibre aux vents en différens temps.

Parmi toutes les machines propres à meſurer les vents, & que l'on nomme pour cette raiſon *Anémomètres*, je n'ai rien vû de plus ingénieux & de plus complet que celle de M. le Comte d'Ons-en-bray, qui eſt décrite fort au long dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1734. Non-ſeulement elle marque la vîteſſe & la direction du vent; mais elle en tient compte pour l'obſervateur abſent, & l'on voit après 24 heures, quels vents ont régné, & quelles ont été pendant cet eſpace de temps la durée & la vîteſſe de chacun.

La nature qui ne fait rien d'inutile, ſait mettre les vents à profit: ce ſont eux qui tranſportent les nuages pour arroſer & fertiliſer les différentes par-

ties de la terre ; ce ſont eux qui les diſſipent pour faire ſuccéder le calme à l'orage ; c'eſt par ces mouvemens & par ces agitations que l'air ſe renouvelle & ſe purifie , & que le chaud & le froid ſe tranſmettent d'un pays à l'autre. Il arrive auſſi quelquefois que l'on perd au change : car ſi le vent vient d'un lieu mal ſain , il en apporte les mauvaiſes qualités , & ſert de véhicule à la contagion ; mais ce ſont des cas particuliers & aſſez rares qui ne l'emportent point ſur une infinité d'autres avantages que nous tirons du vent.

On eſt ſurpris de voir naître certaines plantes au ſommet d'une tour , ſur le tronc d'un arbre , &c. où l'on n'a pas lieu de croire que perſonne ait pris la peine de les ſemer ; c'eſt l'ouvrage du vent qui éléve la terre en pouſſiere, & enſuite les ſemences , que l'eau du ciel fait germer. C'eſt par la même cauſe que le gramen & toutes les herbes des champs ſe multiplient & croiſſent dans une quantité d'endroits , où l'on voudroit ſouvent qu'elles ne vinſſent point.

L'art , imitant la nature , a trouvé

dans les vents de puiſſans moteurs ; qui nous procurent de grandes commodités, & qui étendent prodigieuſement notre commerce : combien la navigation ne ſeroit-elle pas bornée, ſi les vaiſſeaux n'alloient qu'à force de rames, comme les galeres ? Les voyages de long cours ſeroient impraticables par leur lenteur, & par les frais d'équipages : au lieu qu'à l'aide des vents, & des voiles qui en reçoivent l'impulſion, un petit nombre de matelots au fait de la manœuvre, conduit avec beaucoup de diligence, une petite armée de ſoldats, ou un magaſin énorme de marchandiſes, d'un bord à l'autre de l'Océan.

Quels ſecours ne tirons-nous pas des moulins à vent, pour moudre le grain, extraire l'huile des ſemences, fouler les draps, ſcier les planches, broyer les couleurs, ou autres matieres, &c. combien d'hommes ou de chevaux ne faudroit-il pas employer, pour faire toute la farine que le vent prépare à Montmartre, ou ailleurs aux environs de Paris ? Tous ces travaux s'operent à peu de frais, par le moyen de quatre aîles qui font l'office de leviers,

& qui présentent leur plan d'une maniere oblique à la direction du vent : la puissance qui agit continuellement sur ces quatre plans inclinés, les oblige de reculer sans cesse ; ce qu'ils ne peuvent faire qu'en tournant, & en faisant tourner l'arbre auquel ils sont fixés.

C'est par une méchanique assez semblable que les enfans trouvent le moyen d'enlever ces especes de chassis couverts de papier, qu'ils appellent *cerf-volans;* car la corde avec laquelle ils les retiennent, est toujours attachée de façon que ce plan se présente obliquement à la direction du vent, & alors l'impulsion de l'air tend toujours à le faire monter, en décrivant l'arc d'un cercle qui a pour rayon la ficelle que tient en sa main celui qui gouverne le cerf-volant. Mais comme il faut que l'axe *A B* soit toujours incliné au vent *C D*, d'une certaine quantité, au-dessous & au-delà de laquelle l'impulsion n'auroit plus l'effet qu'on en attend, on a soin de faire filer la corde; & par ce moyen le cerf-volant se trouvant à l'extrémité d'un arc semblable, mais d'un plus grand cer-

XI. LEÇON.

cle, son axe *a b* eſt toujours également incliné au vent *c d*; & le degré d'élévation eſt plus grand. *Voyez la Fig.* 25.

Le ſecours du vent eſt ſi commode, & ſes avantages ſont ſi bien connus de tout le monde, que quand il n'en fait pas, ou que nous ne ſommes pas à portée d'en profiter, nous prenons la peine de nous en procurer artificiellement: on agite l'air avec un éventail, ou autrement, pour ſe donner du frais; le forgeron ſe ſert d'un ſoufflet pour animer ſon feu; & le boulanger nettoye ſon bled, en le faiſant paſſer devant une eſpece de roue garnie de quatre volans qu'il fait tourner pour jetter l'air deſſus, & emporter la pouſſiere: ce crible qui vient originairement d'Allemagne, a été perfectionné & connu à Paris & aux environs, par les ſoins de M. d'Hecbourg, ancien Officier d'Artillerie; je ſais par moi-même, & par le grand débit que je lui ai vû faire de cette machine, combien elle eſt utile à ceux qui ont beaucoup de grains à nettoyer & à conſerver.

Fin du troiſiéme Volume.

Fig. 24.

NORD
N.E.
EST
S.E.
SUD
S.O.
OUEST
N.O.

Fig. 21.

C

D

Fig. 20.

a

b

c

d

Fig. 23.

a

b

A

B

C

D

d

Fig. 22.

F

E

C

D

A

TABLE DES MATIERES

Contenues dans le troisiéme Volume.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

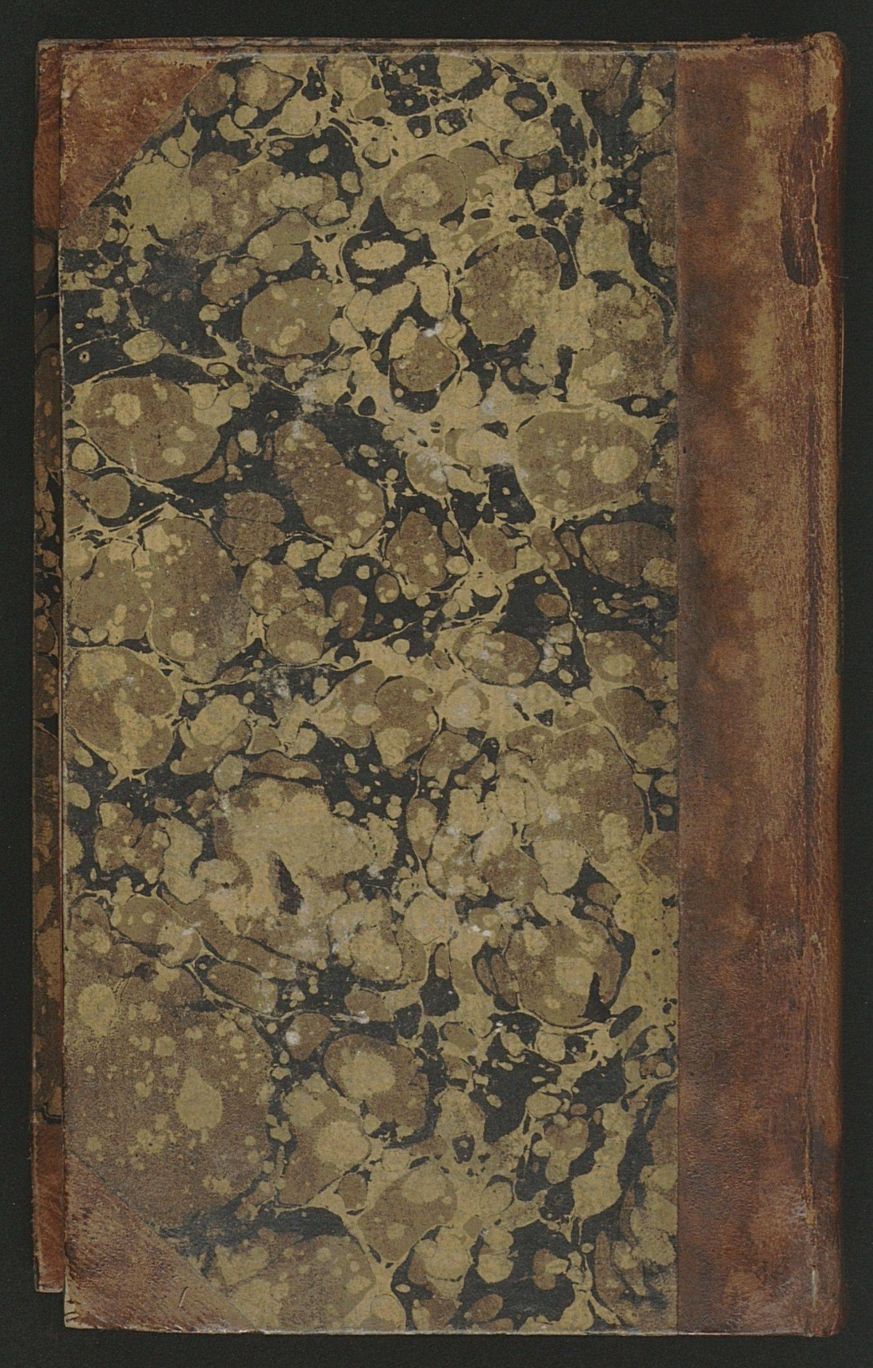
X. LEÇON.

Sur la Nature & les Propriétés de l'Air. 175.

XI. LEÇON.

Suite des propriété de l'Air.

Fin de la Table des Matiéres du Tome III.



PHYSIQUE
DE
NOLLET

TOM: III



inches centimeters

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (A)	12	13	14	15
L*	39.12	65.43	49.87	44.26	55.56	70.82	63.51	39.92	52.24	97.06	92.02	87.34	82.14	72.06	62.15
a*	13.24	18.11	-4.34	-13.80	9.82	-33.43	34.26	11.81	48.55	-0.40	-0.60	-0.75	-1.06	-1.19	-1.07
b*	15.07	18.72	-22.29	22.85	-24.49	-0.35	59.60	-46.07	18.51	1.13	0.23	0.21	0.43	0.28	0.19
Density										0.04	0.09	0.15	0.22	0.36	0.51

	16 (M)	17	18 (B)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
L*	49.25	38.62	28.86	16.19	8.29	3.44	31.41	72.46	72.95	29.37	54.91	43.96	82.74	52.79	50.87
a*	-0.16	-0.18	0.54	-0.05	-0.81	-0.23	20.98	-24.45	16.83	13.06	-38.91	52.00	3.45	50.88	-27.17
b*	0.01	-0.04	0.60	0.73	0.19	0.49	-19.43	55.93	68.80	-49.49	30.77	30.01	81.29	-12.72	-29.46
Density	0.75	0.98	1.24	1.67	2.04	2.42									

D50 Illuminant, 2 degree observer

Golden Thread

Colors by Munsell Color Services Lab

Don Williams